

Ph. U
450 t

Philosophische Propädeutik

auf naturwissenschaftlicher Grundlage

für höhere Lehranstalten

und

zum Selbstunterricht.

Von

August Schulte-Tigges,

Oberlehrer am Realgymnasium zu Barmen.

Erster Teil:

Methodenlehre.



Berlin

Verlag von Georg Reimer

1898.

5608

V o r a n z e i g e.

Im Herbst 1899 erscheint der zweite Teil der Philosophischen Propädeutik mit nachstehendem Inhalt:

Die mechanische Weltauffassung und die Grenzen des Naturerkennens.

Einleitung: Die Mechanik der Atome als Ziel der Naturwissenschaft; Standpunkt des Materialismus.

I. Die Erklärung der Erscheinungen in der leblosen Natur.

1. Berechtigung der atomistischen Auffassung.
2. Anerkannte Grundlagen der Atomistik.
3. Lücken und Widersprüche in der Atomistik.
4. Schwierigkeiten in den Begriffen der Materie und der Kraft.
5. Darlegung und Kritik der Hypothesen von Kant, Laplace und Helmholtz über die Bildung des Weltalls.
6. Hypothesen über die Bildung der Erde.

II. Die Erklärung der Lebenserscheinungen mit Ausschluss der psychischen Vorgänge.

1. Eigenart der Lebenserscheinungen.
2. Kausale und teleologische Naturerklärung.
3. Zurückführung der Lebensvorgänge auf die Thätigkeit des Protoplasmas.
4. Schwierigkeiten in der mechanischen Erklärung der Erhaltung und Entwicklung des Einzelwesens; Urzeugung.

III. Die Entwicklung der lebenden Welt.

1. Gründe für und gegen die Konstanz der Arten.
2. Cuviers Katastrophenlehre; Ansicht von Lamarck.
3. Die Darwinsche Lehre: Vererbung und Variabilität als gestaltende Prinzipien: Überleben des Passendsten im Kampfe ums Dasein.
4. Lücken und Widersprüche in der Darwinschen Theorie; ihre Bedeutung für die naturwissenschaftliche Forschung.

IV. Die Erklärung der psychischen Erscheinungen.

1. Kritik der Gründe des Materialismus für die Identität der psychischen und physischen Erscheinungen.
2. Subjektivität unserer Vorstellungen.
3. Unerklärbarkeit des Zusammenhangs zwischen Atombewegungen und Bewusstseinserscheinungen; Parallelismus der psychischen und physischen Vorgänge.

Schluss: Die Forderungen des Gemüts und des Willens neben den Erkenntnissen des Verstandes; die Berechtigung des Glaubens neben dem Wissen.

Philosophische Propädeutik

auf naturwissenschaftlicher Grundlage

für höhere Lehranstalten

und

zum Selbstunterricht.

Von

August Schulte-Tigges,

Oberlehrer am Realgymnasium zu Barmen.

Erster Teil:

Methodenlehre.



Berlin

Verlag von Georg Reimer

1898.

„Das wichtigste Resultat der geschichtlichen Betrachtung ist die akademische Ruhe, mit welcher unsere Hypothesen und Theorieen ohne Feindschaft und ohne Glauben als das betrachtet werden, was sie sind: als Stufen in jener unendlichen Annäherung an die Wahrheit, welche die Bestimmung unserer intellektuellen Entwicklung zu sein scheint.“

Lange, Geschichte des Materialismus. II 173.



Alle Rechte vorbehalten.

Vorwort.

Durch das Studium der Logik von Wundt angeregt, beschäftigte sich der Verfasser seit mehreren Jahren*) mit dem Gedanken, die naturwissenschaftlichen Kenntnisse der älteren Schüler unserer höheren Lehranstalten für eine Einführung in die Prinzipien und Methoden wissenschaftlicher Forschung nutzbar zu machen. Bis zur endgültigen Gestaltung gefördert wurden diese Studien durch die dem Verfasser übertragene Aufgabe, in der Oberprima in einer Reihe von Stunden philosophische Propädeutik in dem obigen Sinne zu lehren, sowie durch die „Philosophische Propädeutik auf naturwissenschaftlicher Grundlage“ betitelte Schulschrift**) des Herrn Direktor Prof. Lambeck, dem der Verfasser für seine Anregung herzlichen Dank schuldet. Mit den in dieser Abhandlung gesteckten Grenzen und Zielen decken sich im wesentlichen die des vorliegenden Büchleins. Es will demnach in seinem ersten Teil in die wissenschaftliche Methodenlehre einführen, während der zweite (demnächst erscheinende) Teil einer ausführlichen Darstellung und Kritik der mechanischen Weltanschauung gewidmet sein soll. Ist also der nächstliegende Zweck des ersten Teils ein wesentlich formaler, so lässt doch die stete Rücksichtnahme auf die reale Gültigkeit der durch

*) vergl. des Verfassers Abhandlung zum Osterprogramm des Realgymnasiums zu Barmen, 1892. S. 11—16.

**) Beilage zum Jahresbericht des Realgymnasiums zu Barmen, O. 1897.

Induktion und Deduktion gewonnenen Ergebnisse das materiale Element nicht vermissen, und die aus dem Unterricht wie aus der Geschichte der Wissenschaft gewählten Beispiele setzen die formalen Erörterungen in die engste Beziehung zu den Dingen selbst, an denen die logische Verknüpfung der Denkformen es erst bis zu ihrer jetzigen Vollendung gebracht hat.

In dem zweiten Teil, auf den hier des Zusammenhangs wegen bereits hingewiesen werden möge*), tritt die Frage nach der objektiven Gültigkeit unserer Erkenntnisse noch mehr in den Vordergrund. Es wird hier gezeigt werden, dass, so fruchtbar auch der Gedanke gewesen ist und noch ist, alle Naturerscheinungen auf Mechanik der Atome zurückzuführen, doch dem menschlichen Geist unüberschreitbare Grenzen gesetzt sind, und dass es zumal niemals gelingen wird, die psychischen Vorgänge als Bewegungen von Atomen und Molekülen zu deuten.

Abgesehen von der Übung der geistigen Kräfte und der Erweiterung des Gesichtskreises will das Büchlein noch nach zwei Seiten hin klärend und kräftigend wirken: als Waffe gegen den wissenschaftlichen und ethischen Materialismus und als Bahnbrecher zu einer aus dem Gemüt quillenden Erfassung religiöser und sittlicher Ideen. Doch das bedarf einer näheren Ausführung.

Der wissenschaftliche Materialismus, so hoch er einst auch sein Haupt erhoben, liegt zu Boden, seit ihn die Naturforscher in ihren geistigen Grössen verlassen haben. Aber in weiten Schichten des Volkes wirkt sein zersetzendes Gift noch fort. Was ist denn die „Wissenschaft“, auf die sich die Vertreter der Sozialdemokratie triumphierend berufen, anders als die materialistisch gefärbte Naturwissenschaft? Auch die ungeheure Verbreitung von Büchern, wie Büchners

*) s. die vorläufige Inhaltsangabe auf der zweiten Umschlagseite.

„Kraft und Stoff“ u. s. w. sollte uns bedenklich machen. Da gilt es denn vor allem, die uns anvertrauten älteren Schüler, die doch später zu den Führenden des Volkes gehören wollen, nicht allein vor diesem Gifte zu bewahren, sondern ihnen auch Waffen in die Hand zu geben gegen jene alles Gute und Sittliche untergrabende Weltanschauung.

Freilich wäre es thöricht zu glauben, dass eine nur äusserlich angeeignete, nicht im Feuer der Erfahrung und Prüfung gestählte idealistische Lebensauffassung nun auch eine Umsetzung in praktische Werte verbürge. Auch unterliegt es wohl keinem Zweifel, dass jeder Mensch mehr durch natürliche Anlagen, Erziehung und Beispiel, als durch theoretische Ansichten von der Bedeutung der Welt und dem Sinn des Lebens in seinem wirklichen Thun und Handeln bestimmt wird. Aber sicherlich vermögen andererseits materialistische Theorien den Sinn von der idealen Höhe der Pflicht abzuziehen und in unreifen, nicht widerstandsfähigen Köpfen Verwirrungen und Verirrungen zu erzeugen.

Und gänzlich falsch wäre es, die älteren Schüler vor einer Berührung mit jenen Problemen ängstlich zu hüten; schon die Flut der Tageslitteratur würde dies Bemühen vereiteln, da sie erst recht lüstern macht nach der verbotenen Speise. Da ist es, wie immer, der einzig richtige Weg, der Wahrheit gerade ins Angesicht zu sehen. Freilich darf man nicht davor zurückschrecken, in den jugendlichen Gemütern Zweifel zu erregen an der objektiven Wahrheit unserer Erkenntnis; aber unser Wissen ist nun einmal Stückwerk und bleibt Stückwerk, und weshalb sollten wir davor die Augen verschliessen! Für den Forscher soll man gewiss die Kraft der subjektiven Überzeugung von der Richtigkeit seiner Hypothese als treibendes Motiv bei seinen Untersuchungen nicht unterschätzen, obwohl auch schon oft ein zu starres Festhalten an erworbenen oder überlieferten Meinungen den Fortschritt der Wissenschaft Jahrzehnte und Jahrhunderte lang

gehemmt hat; aber für jeden anderen ausserhalb der eigentlichen Forschung Stehenden ziemt sich weise Mäßigung und Zurückhaltung, und unsinnig wäre es, auf die heutige Meinung zu schwören und die gestrige zu verachten, sind doch beide nur Durchgangspunkte auf dem Pfade zur Wahrheit. Einen schädlichen Einfluss auf das Interesse für den naturwissenschaftlichen Unterricht und naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse braucht man bei angemessener Handhabung des Unterrichts nicht zu fürchten. Auch bei einer kritischen Betrachtung bleibt die Naturwissenschaft das, was sie ist oder wenigstens sein sollte; eine Wissenschaft, die selbst die Wahrheit sucht, muss eine solche Durchleuchtung vertragen können.

Ist es also in gleicher Weise thöricht, die jetzige Naturwissenschaft als in ihren Grundlagen vollendet und mit der Fähigkeit ausgerüstet anzusehn, alle Dinge im Himmel und auf Erden erklären zu können, oder andererseits des Zweifels an der realen Erkenntnis der Dinge wegen die Erkenntnis überhaupt zu verachten, so bleibt doch gleichwohl zu erwägen übrig, welcher Beweggrund die Tausende und Abertausende von Menschen immer wieder treibt, diese scheinbare Danaidenarbeit aufs neue aufzunehmen und fortzusetzen. Nicht zu leugnen ist, dass die praktische Beherrschung und Dienstbarmachung der Natur immer weiter schreitet und dass der aus der Forschung sich ergebende praktische Nutzen auch wieder anfeuernde Rückwirkung äussert auf die Forschung selbst. Aber der eigentliche Grund liegt doch tiefer: es ist die Überzeugung oder wenigstens das Gefühl, dass die Grundlagen unserer heutigen Kultur mit auf den Schultern der Wissenschaft ruhen, dass wissenschaftlicher und sittlicher Fortschritt, wenn sie auch nicht immer Hand in Hand gehen, doch eine gemeinsame Wurzel haben in dem uns inwohnenden Streben, gewissen Ideen, wie denen des Wahren, Guten und Schönen gerecht zu werden.

Und diese gemeinsame Wurzel ist es auch, die uns hoffen lässt, dass dieses Büchlein beitragen möge zu der Erkenntnis, dass nicht der Verstand allein das Recht hat, sich in seinen Forderungen befriedigt zu sehen, sondern dass auch das Gemüt in seinem Streben nach Erreichung des sittlichen Ideals, nach Aufgehen in Gott nicht zurückgesetzt werden darf. Vergebens aber wäre es, diese zwiespältigen Forderungen mit einander zu verschmelzen oder zu versöhnen. Nur die Einsicht, dass der Geist nicht nur objektive Eindrücke von aussen aufnimmt, sondern sie auch gemäß der ihm eigenen Natur verarbeitet, nur die deutliche Abgrenzung des wissenschaftlich Erkennbaren, nur die Erkenntnis, dass die ganze Wissenschaft auch nur die Erfüllung einer in uns schlummernden Idee ist, dass unsere gesamte geistige Thätigkeit in unserem Willen den letzten Ausgangspunkt hat, kann die Bahn frei machen von allen Hindernissen, die dem Gemüt, das sich nur auf sich selber und seine innere Berechtigung stützen kann, in der Erfassung religiöser und sittlicher Ideen bereitet werden.

Neben diese allgemeinen Ziele treten noch einige besondere. / Die fortgesetzte Rücksichtnahme auf die geschichtliche Entwicklung soll mit Bewunderung erfüllen für die zahlreichen Pioniere der Wissenschaft, soll Achtung einflößen vor der geistigen Arbeit überhaupt und die Selbstüberhebung im Keime ersticken, die zu leicht den Leistungen früherer Jahrhunderte gegenüber entstehen kann, wenn das Gebäude der Wissenschaft als fertiges Werk dem Schüler gegenübertritt. / Die zusammenfassende Darstellung der mechanischen Weltanschauung krönt gewissermaßen das Unterrichtswerk einer ganzen Reihe von Jahren und lässt auch Ausblicke in Gebiete thun, die in den vorangegangenen Jahren der mangelnden geistigen Reife wegen nicht betreten werden konnten.

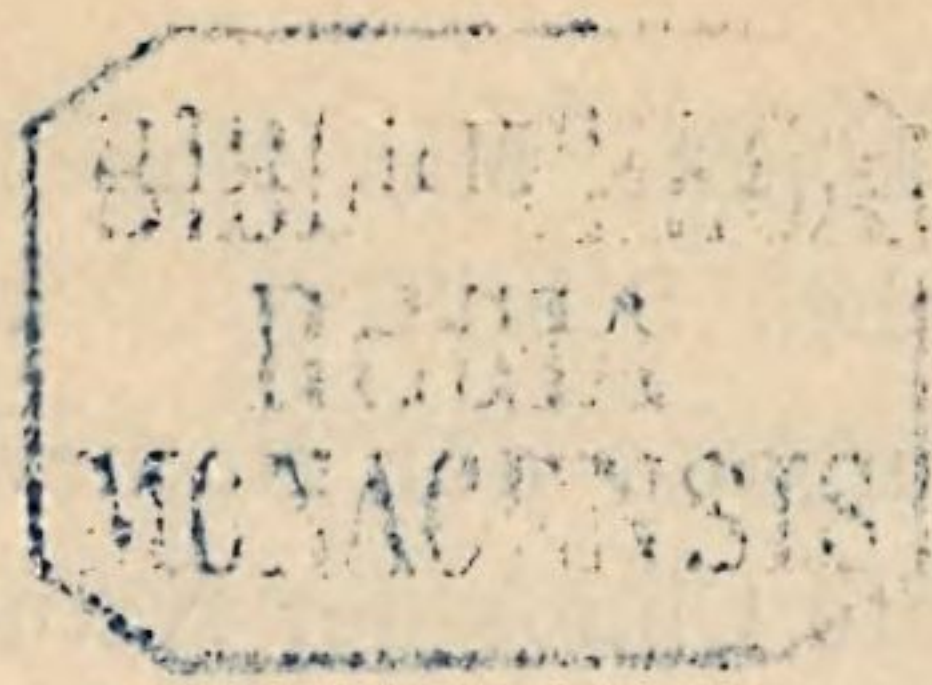
Leider wird der Unterricht auf die Prima beschränkt werden müssen, wenn auch nicht verkannt werden soll, dass

dem abgehenden Sekundaner ein Schutz gegen die Gefahren einer materialistischen Welt- und Lebensauffassung ebenso nötig und dienlich wäre. Zu seiner Einführung bedarf es nicht einer besonders zu bewilligenden Stundenzahl, können doch leicht die Fächer der Physik, Chemie und Mathematik, sowie das des Deutschen gegen Ende des Schuljahrs (am besten wohl zwischen der schriftlichen und der mündlichen Reifeprüfung) je einige Stunden hierzu hergeben.

Von einer durchgängigen Angabe der entlehnten Stellen und Beispiele ist aus äusseren Gründen ganz abgesehen worden; doch wird die unten folgende Zusammenstellung der (in diesem Teile) benutzten Litteratur vielleicht manchem Fachgenossen dienlich sein. Die am Schluss (des zweiten Teils) befindliche chronologische Übersicht über die im Text angeführten Thatsachen und Entdeckungen soll die Orientierung über die geschichtliche Entwicklung der Wissenschaft erleichtern.

Barmen, im Juni 1898.

A. Schulte-Tigges.



Einleitung.

1. **Wie** ein neugieriges Kind steht der beobachtende und denkende Mensch der Natur gegenüber. Nicht eher lässt ihn der Trieb nach Erkenntnis ruhen, als bis er die Fragen „wie?“ und „weshalb?“ erschöpfend beantwortet findet. Glücklicherweise kommt die Natur selbst der Beantwortung der ersten Frage entgegen, indem sie sich nicht als eine Summe von lauter gänzlich verschiedenen Dingen und Erscheinungen zeigt, sondern in der allerdings grossen Mannigfaltigkeit mehr oder weniger scharf begrenzte Gruppen äusserst ähnlicher Einzelwesen, die Arten, erkennen lässt.

Selbst auf den untersten Stufen der menschlichen Kultur ist diese Kenntnis vorhanden; so sollen (nach Whewell) die Einwohner von Neu-Seeland bestimmte Namen für alle Bäume und Pflanzen ihrer Inseln haben, obwohl die Zahl der Arten 600—700 betragen mag. „In den Erzählungen der wildesten Volksstämme, in ihren ältesten Liedern und Sagen sieht man Eichen und Fichten, Rosen und Veilchen, den Olivenbaum und den Weinstock und tausend andere Erzeugnisse der Erde auf eine Weise erwähnt, die deutlich zeigt, dass für solche Gegenstände der Natur dauernde Unterschiede bemerkt und bestimmte Bezeichnungen bereits allgemein anerkannt gewesen sein müssen.“— Bestände die Natur aus lauter verschiedenen Einzelwesen, so wäre jede Naturerkenntnis unmöglich, weil einmal das Gedächtnis, das jetzt nur Typen zu merken braucht, nicht hinreichen würde, um die ganze Fülle der Erscheinungen zu fassen, und man sich auch über das Gesehene mit den Mitmenschen

kaum verständigen könnte. Man denke hierbei an die Schwierigkeiten der chinesischen Schrift.

2. Die erste Aufgabe der Naturwissenschaft wird also die sein, in das bunte Chaos der Naturgegenstände Ordnung zu tragen. Der Ordnung vorangehen muss aber unbedingt eine Feststellung der Eigenschaften und Merkmale, also eine genaue Beschreibung der Dinge. Somit ist die Beschreibung die grundlegende Thätigkeit, die in keinem Zweig der Naturwissenschaft entbehrt werden kann.

Ein Interesse an der Beschreibung und Ordnung sehen wir in der Geschichte der Naturwissenschaft vor allem da erwachen, wo der Gesichtskreis der Völker oder Einzelner sich durch Reisen oder Eroberungszüge erweitert und neue, fremdartige Dinge bekannt werden. So ist die staunenswerte Anhäufung zoologischer Kenntnisse bei Aristoteles nur möglich gewesen durch die thatkräftige Unterstützung von seiten Alexanders, der die Sammlungen durch reiche Sendungen aus dem Orient vervollständigte. Auch der praktische Nutzen trieb zur Beschreibung und Ordnung der Dinge an. Hippokrates zählt 230 Pflanzenarten auf, die als Heilmittel gebraucht werden, und Theophrast betrachtet die Pflanzen mit Rücksicht auf ihre Verwertung beim Ackerbau, im Haushalt und in der Arzneikunde. Ja Plinius sieht ausdrücklich von einer Beschreibung der an Zäunen und Wegen wachsenden Pflanzen ab, weil „sie keinen Nutzen haben“.

3. Die durch die Mannigfaltigkeit der Natur geforderte Sichtung und Ordnung bleibt aber nicht bei der Sonderung und Beschreibung der Arten stehen, sondern drängt darüber hinaus zu einer umfassenden systematischen Klassifikation. Für eine solche Gruppierung und Einteilung sind aber Vergleiche zwischen den Arten nötig, die, da sie unmöglich auf alle Merkmale Rücksicht nehmen können, der persönlichen Willkür des Forschers einen gewissen Spielraum lassen, indem sie ihn zwingen, zwischen wesentlichen und unwesentlichen Merkmalen zu unterscheiden. So erklärt es sich, dass bis heute noch keine systematische Einteilung es zur dauern-

den Herrschaft gebracht hat und dass die früheren künstlichen, d. h. willkürlichen Systeme durch natürliche, d. h. der Natur besser angepasste Systeme ersetzt worden sind.

Das Bedürfnis einer weitergehenden Klassifikation macht sich erst bei einem gewissen Umfang des Wissens geltend. Dem Zeitalter der Systematik geht immer eine Periode unsystematischer Kenntnisse voraus. So ist die bekannte Einteilung der Tiere in der *historia animalium* des Aristoteles (Blutlose Tiere: Weichtiere, Krustentiere, Kerbtiere, Schaltiere; und Bluttiere: lebendig gebärende, Vögel, Eier legende Vierfüssler, Fische) keineswegs streng durchgeführt und nicht als Klassifikation deutlich empfunden. Die arabischen Schriftsteller, sowie die des Mittelalters, reihten sogar die Pflanzen in alphabetischer Ordnung aneinander.

4. Mit der zunehmenden Einsicht in die Bedeutung der Merkmale treten immerfort neue Gesichtspunkte auf, die die Verwerfung bestehender und Aufstellung besserer Systeme veranlassen. Der Einteilungsgrund wechselt also im Laufe der Zeit, wie wir besonders in der Botanik zu bemerken Gelegenheit haben.

Waren bei Gessner Blüte und Frucht massgebend, bei Cäsalpinus Anzahl, Stellung und Gestalt der Samen, bei Tournefort die Gestalt der Blumenkronen und die Lage der Samenbehälter, so bei Linné die Anzahl, Stellung und Beschaffenheit der Stempel und Staubgefässe, und seine Bedeutung verdankt das Linnésche System nicht zum geringsten Teil der Wichtigkeit dieser Organe für das Leben der Pflanze. Dagegen erkennt man den Vorzug der späteren natürlichen Systeme, abgesehen von der klareren Einteilung der Kryptogamen, besonders in der scharfen Scheidung der Monokotylen und Dikotylen, die durch die Verschiedenheit der ganzen Organisation gerechtfertigt ist.

5. Beschreibung, Vergleich, Einteilung sind also die hauptsächlichsten, aber nicht die einzigen Methoden in den beschreibenden Naturwissenschaften (Tierkunde oder Zoologie, Pflanzenkunde oder Botanik, Steinkunde oder Minera-

logie, Gesteinslehre oder Petrographie, Lehre vom Bau der Erdrinde oder Geognosie, Versteinerungskunde oder Paläontologie, Lehre vom inneren Bau der Organe oder Anatomie), wie sie ja auch in den erklärenden Naturwissenschaften eine nicht unbedeutende Rolle spielen.

Dass nicht bloss die Einzelwesen, sondern auch die physikalischen und chemischen Erscheinungen eine Beschreibung und Ordnung erfordern, ist an und für sich klar, und eine hieraus hervorgehende Einteilung liegt jeder systematischen Darstellung dieser Gebiete zu Grunde.

6. Die Beschreibung kann aber nicht ausser Acht lassen, dass die Merkmale und Eigenschaften der Naturkörper sich mit der Zeit ändern, dass jedes Wesen entsteht, sich entwickelt und vergeht, ja dass wie das Einzelwesen, so auch das ganze Weltall im Werden, in beständiger Entwicklung begriffen ist. An die Frage: „Wie ist die Natur?“ schliessen sich die Fragen: „Wie wird die Natur?“ und „Wie ist die Natur geworden?“ an. Es muss also zur Beschreibung der als fertig und unveränderlich gedachten Einzelwesen noch eine Untersuchung und Darstellung ihrer Entstehung, ihrer Entwicklung, ihres Lebens hinzutreten, sowie eine Darlegung des Werdens der Gesamtheit. Es schliessen sich also an: die Lehre von der Lebensthätigkeit der Organe, die Physiologie, vom Leben der Pflanzen und Tiere im allgemeinen, die Biologie, und von der Bildung und Entwicklung der Erde, die Geologie.

Besonders die Verrichtungen der Organe des menschlichen Körpers waren aus naheliegenden Gründen von jeher der Gegenstand eifriger Forschungen gewesen. So kannte Galen bereits nicht bloss den Aufbau des Körpers aus Knochen und Muskeln, sondern auch die Wirkungsweise der letzteren, sowie Ursprung und Bedeutung der zu ihnen führenden Nerven. Servet macht auf den kleinen Kreislauf des Blutes aufmerksam, während die Entdeckung des doppelten Blutkreislaufes Harvey zu verdanken

ist. — Fabricius und Malpighi beschreiben die Entwicklung des Kückchens aus dem Ei, Swammerdam die Verwandlung der Frösche; Priestley lehrt, dass die Pflanzen Sauerstoff ausatmen und in verdorbener Luft besser gedeihen als in reiner.

7. Bei jeder Art der Beschreibung, möge sie nun bleibende Merkmale oder Thätigkeiten und Verrichtungen betreffen, besonders aber im letzteren Falle, erhebt sich die Frage „weshalb?“ mit gebieterischer Notwendigkeit.

Für das unveränderlich Seiende freilich sucht der naive Mensch nicht nach einer Erklärung (der erste Teil des Trägheitsgesetzes, dass ein Körper nicht von selbst aus Ruhe in Bewegung übergehen kann, ist von jeher ohne weiteres einleuchtend gewesen); aber auch hier stellt sich im Laufe der Zeit das Bedürfnis der Erklärung ein.

Dies zeigt sich schon darin, dass eine naturgemässe Einteilung nicht auf Grund oberflächlicher Kenntniss der äusseren Beschaffenheit, sondern nur bei eindringendem Verständnis der Bedeutung und Entwicklung der Organe möglich ist. — Fabricius findet, dass alle Klappen in den Venen sich nach dem Herzen hin öffnen, und regt damit Harvey zu seiner Entdeckung des Blutkreislaufes an. — Die geographische Verbreitung von Pflanzen und Tieren, die Verschiedenheit der Pflanzen je nach ihrem Standort, die Übereinstimmung zwischen der Farbe der Tiere und ihrer Umgebung sind solche bleibenden Thatsachen, die einer Erklärung dringend bedürftig sind; desgl. die Abplattung der Erde, das eigentümliche Antlitz des Mondes, das Vorkommen von Seetierversteinerungen auf hohen Bergen.

8. Erst recht aber macht sich der Erklärungstrieb geltend bei den Veränderungen der Wesen, zumal wenn sich zeigt, dass diese Veränderungen nicht regellos verlaufen, sondern mit anderen (wenigstens zeitlich) zusammengekettet erscheinen — so dass sie eintreten, wenn diese eintreten, und ausbleiben, wenn diese ausbleiben — also von ihnen abhängig sind.

Ingenhouss ergänzt die Priestleysche Entdeckung, indem er nachweist, dass nur die Blätter und grünen Stengel der Pflanzen Sauerstoff ausatmen, und auch nur im Sonnenlicht, während sie im Schatten und zur Nachtzeit die Luft verderben. — Die Lehre von den Versteinerungen zeigt, dass nicht immer dieselben Tier- und Pflanzengeschlechter auf der Erde gelebt haben und zuerst die einfachsten Formen, später die höher organisierten Wesen entstanden sind; sie führt zur allgemeinen Entwicklungsgeschichte, der eigentlichen Naturgeschichte. — Auch die Geschichte will nicht nur den Lauf der Ereignisse schildern, sondern sucht zu erklären, weshalb sie gerade so und nicht anders verliefen.

9. Stets neue Anregung erhält dies Streben nach tieferer Erkenntnis durch die Wissenschaften, die sich mit den Zustands- und Stoffänderungen im allgemeinen beschäftigen, die Physik und Chemie. Wenn auch Beschreibung, Vergleich, Einteilung von diesen Gebieten nicht etwa ausgeschlossen sind, so findet doch hauptsächlich der Erklärungstrieb hier seine vorzüglichste Nahrung und Befriedigung, weil die physikalischen und chemischen Erscheinungen einfacher, in ihrer Regelmässigkeit leichter erkennbar sind und die Veränderungen nicht allmählich, sondern plötzlich eintreten.

Wie sehr dieser Trieb den Menschen beherrscht, lässt sich an den ältesten, geschichtlich beglaubigten Versuchen der griechischen Naturphilosophen erkennen, die ohne jegliche genauere Erkenntnis der Einzelercheinungen es in kindlichem Vertrauen auf Erfolg unternahmen, das gesamte Weltall aus einem Urstoff oder Prinzip zu erklären. Bekannt ist der Ausspruch des Thales: „Der Urgrund aller Dinge ist das Wasser; aus Wasser ist alles, und in Wasser kehrt alles zurück.“ Die Wahrnehmung, dass die Feuchtigkeit eine Bedingung des Lebens ist, scheint ihn auf seine Annahme geführt zu haben. Anaximander führt alle Dinge auf einen nicht näher gekennzeichneten, unendlichen Urstoff zurück, aus dem sich zunächst die ursprünglichen Gegensätze des Kalten und Warmen, Trockenen und Feuchten ausscheiden; aus dem Feuchten entwickeln sich stufenweise Pflanzen

und Tiere, indem die letzteren zuerst fischartig sind und erst mit Trockenwerden des Landes andere Gestalt annehmen. Anaximenes hingegen, überzeugt von der Notwendigkeit der Luft für jede Lebensthätigkeit, sah diese als den Urstoff an, aus dem alles entstanden sei und in den alles auch zurückkehren sollte.

10. So können wir denn die Erklärung der Natur als die höchste und letzte Aufgabe der Naturwissenschaft ansehen, zu der alle anderen Erkenntnisthätigkeiten nur Bausteine und Material liefern. Wir wollen nicht bloss erkennen, wie die Natur ist, wir wollen nicht nur ein möglichst vollkommenes Bild des Weltalls in Gegenwart und Vergangenheit in uns aufnehmen, sondern wir wollen auch erkennen, weshalb die Welt so ist und nicht anders, weshalb sie notwendig so sein muss, wir wollen die Natur begreifen. Unser Erkenntnishunger ist gestillt, wenn wir keine Frage mehr zu stellen haben.

11. Auf welchem Wege aber vermag man zu einer solchen Erkenntnis zu gelangen? Nur die Geschichte der Naturwissenschaft kann hierauf die Antwort geben. Und sie giebt eine klare und deutliche Antwort. Ein flüchtiger Blick belehrt uns, dass am Ende des Mittelalters zwar eine Reihe von Gesetzen (im besonderen in der Statik) entdeckt, die Erklärungsversuche aber sämtlich misslungen waren. Da aber die Naturforscher des Mittelalters, wenn man sie überhaupt so nennen darf, besonders die Scholastiker ganz und gar auf den Schultern des Aristoteles stehen, so haben wir die Ursachen zu untersuchen, die das Scheitern der aristotelischen Naturphilosophie herbeigeführt haben. Whewell sagt in seiner „Geschichte der induktiven Wissenschaften“: Zur Entwicklung einer Naturwissenschaft gehören That-sachen und Ideen; der Fehler der griechischen Naturphilosophen bestand darin, dass „obschon sie beides, That-sachen und Ideen, im Überfluss besaßen, doch diese Ideen weder bestimmt noch jenen That-sachen angemessen waren.“

Erstaunlich ist die Anhäufung von Erfahrungsthatsachen bei Aristoteles, noch erstaunlicher eigentlich die Fähigkeit des griechischen Geistes, Hypothesen zu bilden, so dass alle neueren Theorien an jene ersten Versuche anknüpfen konnten; und doch dieser gänzliche Misserfolg. Charakteristisch für die Denkweise des Aristoteles ist seine Erklärung der runden Sonnenbildchen im Schatten der Bäume. Statt diese Form mit der kreisförmigen Gestalt der Sonne in Verbindung zu bringen, nimmt Aristoteles an, dass das Sonnenlicht eine Kreisnatur habe, eine Annahme, die natürlich nichts erklärt.

12. Fragen wir aber weiter, weshalb denn die Ideen den Thatsachen nicht angemessen waren, so finden wir als Grundfehler der aristotelischen Naturphilosophie, dass Aristoteles, hierin seinen Vorgängern ähnlich, wenn er auch die Erfahrung zu schätzen wusste, doch die Natur als Ganzes von vorgefassten Gesichtspunkten aus zu erklären versuchte, statt Schritt für Schritt von einer sorgfältigen Beobachtung des Einzelnen aus zu den allgemeinen Sätzen vorzudringen, aus denen die Erklärung des Ganzen folgt. Das ist der tiefere Grund, weshalb die Naturerkenntnis Jahrhunderte lang nicht von der Stelle kam, ja in der Scholastik schliesslich gänzlich versandete.

Die Geschichte der Wissenschaft zeigt also, dass alle Versuche, die gesamte Natur auf einen Wurf, von einem vorgefassten Standpunkt aus zu erklären, gescheitert sind. Die Untersuchung muss demnach ausgehen von der Beobachtung der einzelnen Erscheinungen und dann durch Vergleich und Zusammenfassung vordringen zu allgemeineren Gesichtspunkten.

Das einzuschlagende Verfahren weist eine grosse Ähnlichkeit mit der Methode auf, die wir bei der Klassifikation zu befolgen pflegen. Der Beiname einer „architektonischen Wissenschaft“, mit dem Aristoteles die Klassifikation ausgezeichnet hat, würde also auch auf die erklärenden Naturwissenschaften passen.

I. Beobachtung und Experiment.

1. Das Ziel der Beobachtung und ihre objektiven Schwierigkeiten.

1. Die Untersuchung einer Naturerscheinung muss offenbar zunächst eine Antwort auf die Frage geben: Wie verläuft die Erscheinung? Erforderlich ist also eine genaue Beobachtung des Vorganges. Hierbei aber zeigt sich sofort, dass die Erscheinung nicht isoliert dasteht, sondern sich inmitten einer fast unübersehbaren Menge von anderen Erscheinungen ereignet. Es ist auch nicht möglich, sie gänzlich zu isolieren oder auch nur isoliert zu betrachten. Die Beobachtung muss daher, wenigstens zum Teil, auch auf die begleitenden Erscheinungen ausgedehnt werden. Von diesen sind ohne Zweifel einige für die zu untersuchende Erscheinung wesentlich, andere unwesentlich. Wesentlich sind aber diejenigen Vorgänge, bei deren Wegfall die Erscheinung nicht eintritt und mit deren Änderung sich auch die letztere ändert. Nennt man diese Vorgänge die Bedingungen der beobachteten Erscheinung, so kann man die obige Frage bestimmter fassen und fragen: Unter welchen Bedingungen tritt die Erscheinung ein?

2. Wie ist es aber möglich, die unwesentlichen Nebenumstände von den Bedingungen zu unterscheiden? Die einmalige Beobachtung einer Erscheinung kann darüber keinen Aufschluss geben.

Um ein drastisches Beispiel anzuführen, könnte die Beobachtung eines einzigen Regenbogens unter Umständen folgendes

Ergebnis liefern: Der Regenbogen erschien als ein auf dem Horizont stehender, verschiedenfarbiger Bogen von der Grösse eines Viertelkreises; aussen war er rot, innen violett gefärbt; er bildete sich nach Aufhören des Regens, als die Kirchenglocken zu läuten begannen und umgab die Krone eines mächtigen Buchenbaumes. — Hier erkennt der Kundige sofort, dass nicht nur wesentliche mit unwesentlichen Begleiterscheinungen vermengt sind, sondern auch wirkliche Bedingungen fehlen, wie z. B. der Stand der Sonne im Rücken des Beobachters.

Daher ist die Feststellung der Bedingungen sehr schwierig, wenn nicht ganz unmöglich bei solchen Erscheinungen, die sich nur einmal ereignen oder ereignet haben. Hier führt nur die Analogie, d. h. der Vergleich mit ähnlichen Erscheinungen zu einem, wenn auch nicht sicheren Ziel; vgl. die Entstehung der Mondkrater und die Abplattung der Erde.

3. Die Bedingungen können aber ermittelt werden, sobald es möglich ist, die Erscheinung häufiger, unter verschiedenen äusseren Umständen zu beobachten. Bei dem Vergleich der einzelnen Beobachtungen lassen sich nämlich leicht diejenigen Vorgänge feststellen, die die zu untersuchende Erscheinung in allen Fällen begleitet haben oder ihr vorangegangen sind. Dies sind alsdann die Bedingungen der Erscheinung, von denen allerdings noch gezeigt werden muss, dass bei ihrem Nichteintritt auch die Erscheinung ausbleibt und ihre Änderung auch eine Änderung der Erscheinung zur Folge hat.

Die wiederholte Beobachtung eines Regenbogens lässt in dem oben angegebenen Ergebnis als Nebenumstände das Läuten der Glocken und das Vorhandensein der Buche ausscheiden, als wesentliche Bedingung hingegen die von der Sonne ausgehenden Lichtstrahlen erkennen (da der Regenbogen nur bei nicht zu hohem Stande der Sonne erscheint und seine Höhe je nach dem Sonnenstande verschieden ist); auch ergibt sich, dass er sich nur dann bildet, wenn Regentröpfchen in der Luft sind,

und nur gesehen werden kann, wenn der Beobachter der Sonne den Rücken zukehrt.

4. Es genügt aber nicht, bloss die Bedingungen festzustellen, sondern es muss auch untersucht werden, in welcher Weise die einzelnen Bedingungen zu dem Zustandekommen der Erscheinung beitragen, in welchem Masse diese von jenen abhängig ist. Die Erscheinung ändert sich ja mit ihren Bedingungen, und dieser Zusammenhang kann nur mit Hülfe von Messungen klargestellt werden. Die Messungen ergeben eine quantitative, mathematische Beziehung zwischen der Erscheinung und ihren Bedingungen.

In dem obigen Beispiel kann durch zweckmässige Messungen ein solcher Zusammenhang zwischen der Höhe des Bogens und der Sonnenhöhe gefunden werden. Es ergibt sich, dass der Mittelpunkt des Regenbogens in der durch den Mittelpunkt der Sonne und das Auge des Beobachters gezogenen Geraden liegt, dass der mittlere Radius des Bogens stets 41° beträgt, der höchste Punkt des Bogens also in der Höhe $41^{\circ} - \alpha$ erscheint, wenn α die Sonnenhöhe bezeichnet, der Bogen daher nur dann sichtbar ist, wenn die Sonnenhöhe für den Beobachter weniger als 41° beträgt.

2. Vorzüge des Experiments.

1. Immerhin ist aber häufig (wenn die Erscheinung z. B. unter verwickelten oder scheinbar ganz verschiedenartigen, ja fast entgegengesetzten Umständen auftritt, wie die Taubildung) die Ermittlung der Bedingungen selbst bei einer wiederholten Beobachtung schwierig; noch schwieriger aber ist es festzustellen, welchen Anteil die einzelnen Bedingungen an dem Erfolg haben. Diese Schwierigkeiten werden aber wesentlich gehoben, wenn es möglich ist, selbst in den Lauf der Erscheinung einzugreifen und willkürlich Veränderungen hervorzurufen. Das Experiment ist eine

Frage an die Natur, auf welche diese eine deutliche Antwort erteilt.

Wieviel allein dem Experiment in der Naturwissenschaft zu verdanken ist, geht deutlich aus der Behauptung hervor, gerade das Experiment scheide die griechische und mittelalterliche Naturphilosophie von der neueren Naturwissenschaft. Bis dahin war die Forschung wesentlich auf philosophischen (Aristoteles) oder mathematischen Bahnen (Archimedes) gewandelt. Seit den Tagen Galileis aber tritt das Experiment immer mehr in den Vordergrund, ohne jene anderen Methoden zu verdrängen, und nur die glückliche Vereinigung aller drei Methoden führte zu jener früher für unmöglich gehaltenen Erweiterung des geistigen Horizonts, deren wir uns heute erfreuen.

2. Der Naturbeobachtung gegenüber besitzt das Experiment eine ganze Reihe von Vorzügen, von denen einige hier, andere später (s. S. 66 und 72) Erwähnung finden mögen.

Das Experiment lehrt mit Sicherheit die Bedingungen von den Nebenumständen unterscheiden, weil man willkürlich die eine Erscheinung begleitenden Umstände hervorrufen und verändern und dabei in ihrem Einfluss auf die Erscheinung selbst verfolgen kann.

Ein klassisches Beispiel für die Anwendung des Experiments zur Feststellung der Bedingungen einer Erscheinung ist Newtons Untersuchung der Farbenzerstreuung. Durch das Farbenspiel eines gläsernen Prismas angeregt, liess Newton das Sonnenlicht durch eine $\frac{1}{4}$ Zoll breite runde Öffnung des Fensterladens in das verdunkelte Zimmer fallen und bemerkte, wenn er das Prisma hinter die Öffnung hielt, auf der gegenüberliegenden Wand zu seiner Verwunderung nicht ein kreisrundes, sondern ein in die Länge gezogenes, farbiges Bild, das oben und unten geradlinig, an den Seiten halbkreisförmig begrenzt erschien. Zunächst vermutete er, dass die Erscheinung auf Unregelmässigkeiten in der Struktur des Glases zurückzuführen sei. Er brachte daher hinter dem ersten Prisma ein zweites in entgegengesetzter

Lage an und bemerkte, dass statt des langen farbigen Bandes nunmehr wieder ein rundes, helles Sonnenbild auftrat; Unregelmässigkeiten in beiden Prismen hätten sich aber verstärken müssen. Darauf dachte er, die Verschiedenheit in dem Einfallswinkel der von verschiedenen Stellen der Sonne kommenden Strahlen könne eine verschiedene Brechung zur Folge haben. Messungen ergaben indessen, dass die Breite des Bildes stets gleich dem Durchmesser des in gleicher Entfernung ohne Prisma entstehenden runden Sonnenbildes war, während seine Länge die Breite um das Fünffache übertraf. Die geringe, höchstens 31' betragende Divergenz der Sonnenstrahlen konnte eine derartig starke Zerstreung nicht nach sich ziehen. Schliesslich kam ihm der Gedanke, die Sonnenstrahlen könnten nach ihrem Durchgang durch das Prisma auf krummlinigen Bahnen die Wand erreichen. Da aber bei verschiedener Entfernung der Wand die Länge des Bildes dieser Entfernung stets proportional blieb, der Divergenzwinkel der austretenden Strahlen daher überall derselbe war, so war auch diese Annahme hinfällig. Nun blieb allein die Vermutung übrig, dass die verschiedenfarbigen Strahlen sich durch eine verschiedene Brechbarkeit auszeichneten und dass das Sonnenlicht bei seinem Eintritt in das Prisma in jene Strahlen zerlegt würde. Und in der That bewies ein neues Experiment, das daher auch *experimentum crucis* genannt wurde, die Richtigkeit dieser Vermutung. Newton fing hinter dem ersten Prisma die farbigen Strahlen mit Hülfe eines Lochschirmes auf und liess die einzelnen Farben durch ein zweites Prisma gehen; dabei beobachtete er, dass die roten Strahlen am wenigsten, die violetten am meisten gebrochen wurden, während andererseits keine weitere Zerlegung in neue Farben hinzutrat. — So wertvoll die vorstehenden Untersuchungen auch sind, so haftet ihnen doch eine Unvollkommenheit an, die Newton dazu führte, in den oben angegebenen Grössenverhältnissen (1 : 5) des Bildes ein wesentliches Merkmal des Spektrums zu erblicken, und ihm die Entdeckung des Achromatismus verschloss. Erst die Einwürfe seiner Gegner veranlassten ihn, Versuche mit verschiedenen Prismen anzustellen, die aber merkwürdigerweise zu keinem anderen Ergebnis führten, mochte

nun jenes Vorurteil ihn beeinflussen oder der Zufall ihn mit Prismen von gleicher Zerstreuung arbeiten lassen.

3. Manche Erscheinungen finden in der Natur unter Umständen statt, die zwar den Verlauf der Erscheinung modifizieren, während man sie doch andererseits nicht als wirkliche Bedingungen auffassen kann, da auch bei ihrem Nichtvorhandensein die Erscheinung als solche gleichwohl bestehen bleibt. Dies gilt z. B. von allen Bewegungshindernissen. Es ist aber von grossem Wert, die Erscheinung in ihrer Reinheit, d. h. in ihrer alleinigen Abhängigkeit von den Bedingungen zu studieren; schon allein deshalb, um ähnliche Erscheinungen vergleichen zu können. Daher sucht man bei der experimentellen Untersuchung jene Umstände zu beseitigen. Das Resultat der Beobachtung nimmt alsdann eine einfachere Form an, die allerdings dem wirklichen Naturvorgang nicht mehr genau entspricht.

Beispiele hierfür bieten alle experimentellen Vorrichtungen, die dazu dienen, Bewegungshindernisse ganz oder fast ganz aufzuheben. — Die Beobachtung des freien Falls im luftleeren Raum ergiebt das Resultat, dass dort alle Körper gleich schnell fallen, ein Gesetz, das aus Naturbeobachtungen allein niemals hätte gewonnen werden können und das Galilei weit weniger Widerspruch eingebracht hätte, wenn er es nicht bloss theoretisch gefolgert, sondern auch experimentell bestätigt hätte. Zuweilen zeigt auch der Versuch z. B. die Beobachtung des Schlagwerks unter der Luftpumpe, dass das, was für die eine Erscheinung (den Fall) nur ein Bewegungshindernis, für die andere (die Verbreitung des Schalls) eine Bedingung ist.

4. Der wichtigste Vorzug des Experiments besteht darin, dass man jede einzelne Bedingung in ihrem besonderen Einfluss auf die Erscheinung untersuchen kann. Zwar lassen sich nicht die übrigen Bedingungen beseitigen — denn wirkliche Bedingungen können eben nicht beseitigt werden, wenn die Erscheinung überhaupt eintreten soll —, aber man kann sie konstant erhalten, während die zu unter-

suchende Bedingung passenden Änderungen unterworfen wird. Dies Verfahren setzt allerdings voraus, dass die Voruntersuchung (s. 2) bereits ergeben hat, von welchen Bedingungen die Erscheinung abhängig ist.

Der Bodendruck einer Flüssigkeit sei als abhängig erkannt (oder vermutet) von dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit, der Höhe der Flüssigkeitssäule, der Grösse der Bodenfläche und der Gestalt des Gefässes. Dann würden sich folgende Versuchsreihen ergeben: a) Ein und dasselbe Gefäss wird mit verschiedenen Flüssigkeiten bis zu derselben Höhe gefüllt; b) Dasselbe Gefäss wird mit ein und derselben Flüssigkeit bis zu verschiedenen Höhen gefüllt; c) Gefässe von gleicher Gestalt aber verschiedener Bodenfläche werden mit derselben Flüssigkeit bis zu derselben Höhe gefüllt; d) Gefässe von gleicher Bodenfläche aber verschiedener Gestalt werden mit derselben Flüssigkeit bis zu derselben Höhe gefüllt. — Bei den Versuchen mit der Atwood'schen Fallmaschine behält man in der ersten Versuchsreihe die bewegte Masse und das Übergewicht bei und stellt die Abhängigkeit der Bewegung von der Zeit fest, während in den folgenden Versuchen bei konstantem Übergewicht die bewegte Masse oder bei konstanter Masse das Übergewicht verändert wird. Diese Änderung geschieht natürlich am zweckmässigsten in den einfachsten Verhältnissen. — Soll die Abhängigkeit des Siedepunktes einer Flüssigkeit vom Druck erforscht werden, so wird man die Versuche mit einem und demselben Gefäss anstellen, um den Einfluss der Beschaffenheit des Gefässes zu eliminieren.

5. Auch in solchen Fällen leistet das Experiment noch gute Dienste, wo die sinnliche Wahrnehmung der zu untersuchenden Erscheinung erschwert oder unmöglich ist, indem man wenigstens eine ähnliche Erscheinung experimentell hervorrufen und beobachten kann.

De Dominis und Descartes suchten den Verlauf der Strahlen in den Regentröpfchen des Regenbogens mit Hülfe von aufgehängten Glaskugeln zu erforschen. — Mit der Atwood'schen Fallmaschine und der Fallrinne untersucht man eine dem freien Fall ähnliche Bewegung, da der freie Fall selbst für eine genaue

Beobachtung zu schnell verläuft (vgl. aber Babos Fallmaschine). — Die Plateausche rotierende Ölkugel in dem Alkohol-Wassergemisch soll die Bildung des Saturnringes und die Loslösung der Trabanten veranschaulichen. — Die Beharrung der Rotationsachse und ihre Präcession sucht man mit dem Bohnenbergerischen und Fesselschen Apparat darzustellen. — Für die Darwin'sche Theorie ist die ganze künstliche Züchtung der Haustiere von seiten des Menschen ein grundlegendes Experiment.

3. Subjektive Schwierigkeiten der Beobachtung.

1. In den vorstehenden Erörterungen haben sich bereits Schwierigkeiten gezeigt, welche die Erscheinungen unserer Beobachtung entgegensetzen; wir wollen aber auch nicht achtlos an den Schwierigkeiten vorübergehen, die in dem Beobachtenden selbst ihren Ursprung haben und daher subjektive genannt werden können. Erfordernisse für eine genaue Beobachtung sind offenbar: Schärfe und Geübtheit der Sinne, sowie die Erziehung des Willens zur Aufmerksamkeit. Von diesen Eigenschaften sind die beiden letzten einer stetigen Steigerung fähig.

Auch nach dieser Richtung hin entfaltet das Experiment eigentümliche Vorzüge, indem es zu passender Zeit angestellt dem Beobachtenden das Aufmerken erleichtert; überdies steht beim Experiment meist von vornherein fest, auf welche besonderen Punkte die Aufmerksamkeit gerichtet sein muss. — Wie wichtig dies für die Beobachtung ist, geht daraus hervor, dass selbst der grosse Faraday, als er den Experimenten Tyndalls zusah, letzteren fragte, worauf er achten solle.

2. Dagegen ist die eigentümliche Einrichtung unserer Sinnesorgane, durch welche die Schärfe und der Umfang unserer sinnlichen Wahrnehmung bestimmt wird, eine Mitgabe unserer Geburt und vielleicht erst in Jahrhunderten oder Jahrtausenden einer gewissen Vervollkommnung fähig.

Sind auch unsere Sinne für den täglichen Gebrauch des praktischen Lebens vorzüglich organisiert, so genügen sie doch nicht den Anforderungen einer genauen wissenschaftlichen Beobachtung. Diese Beschränktheit zeigt sich nicht allein darin, dass uns für die unmittelbare Aufnahme gewisser Erscheinungen, wie der magnetischen und elektrischen, die Sinne fehlen, sondern auch darin, dass die Wahrnehmungsfähigkeit unserer Sinne auf bestimmte endliche Masse begrenzt, innerhalb dieser Grenzen aber noch fehlerhaft und ungenau ist und zur Messung von Intensitäten nicht ausreicht.

Es genügt hier an Ohr und Auge zu denken, da die übrigen Sinne bei wissenschaftlichen Beobachtungen nur eine untergeordnete Rolle spielen. Unser Gesichtssinn giebt uns keine Kunde von den im Spektrum vorhandenen ultraroten und ultravioletten Strahlen, obwohl wir hinreichenden Grund zu der Vermutung haben, dass diese sich von den wahrnehmbaren Lichtstrahlen nur quantitativ, nicht dem Wesen nach unterscheiden. Unser Ohr empfindet Schwingungen unter 30 und über 20—30 000 in der Sekunde nicht als Töne, während die Grenze der Hörbarkeit überhaupt zwischen 30 000 und 60 000 liegt. Und was die sinnliche Wahrnehmung innerhalb der Grenzen anbetrifft, so kann uns gewiss die Beweglichkeit des Auges, seine schnelle Anpassung an weite und nahe Entfernungen, das Zusammenwirken beider Augen bei der räumlichen Vorstellung körperlicher Gegenstände mit Staunen und Bewunderung erfüllen. Aber immerhin weist das Auge, ganz abgesehen von individuellen Schwächen, auch eine Reihe von Unvollkommenheiten auf, wie Helmholtz nachgewiesen hat, so die geringe Schärfe des Bildes auf dem bei weitem grössten Teil der Netzhaut, der Mangel an vollständiger Achromasie, eine gewisse Asymmetrie im Bau, Trübung der durchsichtigen Medien, für Licht unempfindliche Stellen, wie der blinde Fleck sowie die in den Gefässschatten der Netzhaut liegenden Teile. Als optisches Werkzeug besitzt also das Auge verschiedene Fehler, die aber grösstenteils aufgehoben werden durch die oben genannten

Vorzüge, d. h. durch die Art, wie wir das Auge gebrauchen. Helmholtz kommt daher zu dem Schluss: „Das Auge hat alle möglichen Fehler optischer Instrumente, einzelne sogar, die wir an künstlichen Instrumenten nicht leiden würden, aber sie sind alle in solchen Grenzen gehalten, dass die durch sie bewirkte Ungenauigkeit des Bildes unter gewöhnlichen Bedingungen der Beleuchtung das Mass nicht weit überschreitet, welches der Feinheit der Wahrnehmung durch die Feinheit der lichtempfindenden Zapfen gesetzt ist.“

Auch an gewisse räumliche Grenzen ist die Gesichtswahrnehmung gebunden, insofern der Grösse jener Zapfen entsprechend, im allgemeinen nur Gegenstände deutlich wahrnehmbar sind, deren Gesichtswinkel mindestens 30 " beträgt. Das Auge vermag ferner in Farbungemischen die einzelnen Bestandteile nicht zu unterscheiden, während das Ohr bei einiger Übung in dem Klang die Partialtöne erkennt. Beide Organe aber geben uns nur ungenaue Vorstellungen von der Stärke (Intensität) der Erscheinungen, indem man auf Grund unmittelbarer Beobachtung niemals mit Sicherheit sagen kann, dieses Licht oder dieser Schall sei doppelt so stark als ein anderes Licht oder ein anderer Schall. Die Messung der Lichtstärke kann daher nur mittelbar geschehen, indem das Auge in den gebräuchlichen Photometern gleiche Intensität feststellt und alsdann erst aus der Entfernung der beiden Lichtquellen auf deren Stärke geschlossen wird.

4. Hilfsmittel der Beobachtung.

1. Diese Schwierigkeiten können teilweise gehoben werden durch geeignete Hilfsmittel der Beobachtung, Instrumente und Apparate; ganz jedoch nicht, da die Beobachtung in letzter Linie ja doch durch unsere Sinnesorgane geschehen muss. Aber es können z. B. die Grenzen der sinnlichen Wahrnehmung erweitert werden, wie dies durch Fernrohr und Mikroskop, Telephon und Mikrophon geschieht.

Welche Entdeckungen wir den beiden erstgenannten Instrumenten verdanken, ist bekannt. Hier mag nur an die ersten Fortschritte erinnert werden. Galilei entdeckt das Mondsystem des Jupiter und gewinnt damit eine mächtige Stütze für die Kopernikanische Lehre, Cassini beobachtet die Rotation des Mars, während das Mikroskop Leuwenhoek einen Blick in die Welt der Mikroorganismen gestattet. Auch die vergrößerte Darstellung kleiner Veränderungen durch Zeiger, wie bei dem Apparat für die Längenausdehnung von Stäben oder beim Reflexgalvanometer, mag erwähnt werden; im letzteren Fall wird der Zeiger durch den zurückgeworfenen Lichtstrahl gebildet.

2. Andere Hilfsmittel dienen zur Zerlegung der Erscheinungen, wie Spektroskop, Polarisationsapparat, Resonatoren.

Dem Spektroskop verdanken wir unter anderem unsere Kenntnis von der chemischen Beschaffenheit der Gestirne, dem Polarisationsapparat die zunehmende Einsicht in den molekularen Aufbau der Körper. Die Resonatoren unterstützen das Ohr in seiner Fähigkeit, die Teiltöne eines Klanges wahrzunehmen.

3. Noch andere wandeln Naturerscheinungen verschiedener Art in Eindrücke des mit Recht bevorzugten Gesichtssinnes um.

So auf dem Gebiet der Schwere: Wage, Barometer, Aräometer; der Wärme: Thermometer, Thermogalvanometer, Bordsches Pyrometer; der Elektrizität: Galvanometer, Elektrometer, Drehwage, Voltameter, Volt- und Ampèremeter; des Magnetismus: Magnetometer; des Schalls: Vibrograph, Vibrationsmikroskop, Klangfiguren, Sirene, rotierender Spiegel.

4. Dazu kommen die vielen Instrumente, die zum Zwecke genauer Messungen erfunden worden sind. Wie sehr in dieser Beziehung unsere Zeit fortgeschritten ist, kann man daran erkennen, dass die Fehler der astronomischen Messungen zur Zeit Hipparchs halbe Winkelgrade, zur Zeit Tychos immerhin noch einige Minuten betrug, während sie heutzutage kaum eine Sekunde erreichen.

Zu Längenmessungen dienen: Nonius, Mikrometerschraube; zur Winkelmessung: Spiegelsextant, Reflexionsgoniometer, Theodolit; zur Messung von Kräften: die verschiedenen Arten der Wage, Aräometer, Barometer, Manometer, Drehwage; zur Messung der Lichtintensität: Photometer; zur Zeitmessung: früher Sonnen-, Wasser- und Sanduhren, das Pendel (Huygens), schwingende Stimmgabel, Chronoskop.

II. Naturgesetz (empirisches Gesetz); Induktion.

1. Charakter und Einteilung der Naturgesetze.

1. Das Ergebnis aller Versuche und Beobachtungen, die bezüglich einer Erscheinung angestellt werden, ist ein Naturgesetz, d. h. die Angabe, unter welchen Bedingungen die Erscheinung eintritt und wie sie verläuft. Da es aus der Erfahrung gewonnen und den Inhalt der Erfahrung widerspiegelt, so kann es auch empirisches oder Erfahrungsgesetz genannt werden.

Das Naturgesetz hat also trotz seines Namens einen ganz anderen Charakter als die Sittengesetze und die Gesetze des Rechts und der Religion. Diese schildern nicht das thatsächliche Verhalten der Menschen, sondern geben Befehle und Verbote. Daher das „Du sollst“ und „Du sollst nicht“ der mosaischen Gesetzestafeln. Das Naturgesetz hingegen zwingt die Naturkörper nicht, sich so zu verhalten, wie sie sich verhalten, es schreibt ihnen nicht ihre Bewegungen vor, es ist nicht eine über der Natur stehende Macht, sondern es sagt nur aus, dass sie sich so und nicht anders verhalten.

2. Hinsichtlich ihres Inhaltes lassen die Naturgesetze drei Stufen der Erkenntnis unterscheiden.

In vielen Fällen ist die Wissenschaft noch nicht weit genug vorgeschritten, um eine Messung der bei der Erscheinung und ihren Bedingungen in Betracht kommenden Grössen zu ermöglichen. Das Gesetz vermag alsdann bloss festzustellen, dass überhaupt ein Zusammenhang zwischen

beiden besteht, man könnte es ein qualitatives Gesetz nennen.

Das ist infolge des verwickelten Zusammenhangs der Erscheinungen in der Welt der Lebewesen z. B. der Fall bei den meisten Gesetzen in den beschreibenden Naturwissenschaften. — Trocknet ein Sumpf aus, in dem *Polygonum amphibium* wächst, so haben die neuentwickelten Blätter kürzere und elastische Stiele und sind mit Haaren besetzt, während die untergetauchten Blätter lange, schlaffe Stiele und glatte Oberflächen besaßen.

3. In anderen Fällen sind zwar Messungen, zuweilen in grosser Anzahl, vorgenommen worden, ohne dass es aber gelungen wäre, einen einfachen Zusammenhang zu erkennen. In solchen Fällen sind graphische Darstellungen vielfach sehr nützlich.

In diesem Zustande befindet sich noch heute das Gesetz, das die Abhängigkeit der Spannkraft des Wasserdampfes von der Temperatur und damit auch die Beziehung zwischen dem Siedepunkt des Wassers und dem äusseren Druck angiebt. Auch der Zusammenhang zwischen der totalen und partiellen Dispersion sowie zwischen der Farbenzerstreuung und der mittleren Brechung ist bis jetzt noch nicht durch eine mathematische Formel darstellbar. — Die Abhängigkeit des Luftdrucks, der Temperatur und der magnetischen Elemente von Ort und Zeit findet in der graphischen Darstellung des selbstaufzeichnenden Barometers, den Isobaren, Isothermen, Isogonen, Isoklinen und Isodynamen ihren Ausdruck.

4. Die höchste Stufe ist dann erreicht, wenn es gelingt den Zusammenhang zwischen der Erscheinung und ihren Bedingungen durch eine mathematische Formel darzustellen. Die anerkannte Überlegenheit dieses Standpunktes hat sogar zu dem übertriebenen Ausspruch geführt, die Naturwissenschaft sei nur soweit Wissenschaft, als Mathematik darin enthalten sei.

Das Brechungsgesetz war durch wiederholte Messungen längst vorbereitet, als Snellius die einfache mathematische Beziehung

zwischen Einfalls- und Brechungswinkel entdeckte. Aus dem Gewirr ungezählter Beobachtungen des Mars erkannte Kepler die Gestalt der Bahn dieses Planeten.

5. Auch bezüglich des Umfanges sind die Naturgesetze verschieden. Das unserem Geiste eigentümliche Streben nach zusammenfassender Ordnung treibt uns an, durch Vergleichung verwandter Gesetze zu immer allgemeineren Sätzen zu gelangen.

So sind das Mariottesche und das Gay-Lussacsche Gesetz nur Verallgemeinerungen der an verschiedenen Gasen gemachten Beobachtungen, während ihre Zusammenfassung zu der Formel $v b = v_0 b_0 (1 + \alpha t)$ natürlich beide in sich schliesst, wie sich unter den besonderen Annahmen $t = 0$ und $b = b_0$ ergibt.

2. Abweichung der Naturgesetze von der Erfahrung.

Nach dem Vorigen sollte man meinen, die Naturgesetze seien das getreue Spiegelbild der in der Natur stattfindenden Vorgänge. Und doch ist es nicht so. Denn da die Beobachtung die Fehlerquellen, besonders die subjektiven, nicht ganz vermeiden kann, so müssen sich diese Fehler, wenn sie sich auch vielfach teilweise ausgleichen werden, im Resultat wiederfinden. Besonders die bereits mathematisch formulierten Gesetze bedürfen daher einer steten Kontrolle durch die Erfahrung. Ausserdem schaffen wir häufig beim Experiment künstlich einfachere Bedingungen, als sie in der Natur vorkommen, oder nehmen bei der Untersuchung einer Erscheinung nicht auf alle anderen störend in den Verlauf eingreifenden Einflüsse Rücksicht.

So hat Pouillet gezeigt, dass das Mariottesche Gesetz nur annähernd richtig ist. Nach zahlreichen Versuchen von Regnault muss, wenn ein Gas auf den 20. Teil seines Volumens zusammengepresst werden soll, der Druck gesteigert werden von 1 auf 19,7885 bei Stickstoff, 16,7054 bei Kohlendioxyd und 20,2687 bei Wasserstoff, während nach dem Mariotteschen Gesetz der Druck genau auf das 20fache vergrössert werden müsste. — Auch das

Gesetz von Gay-Lussac hat eine Korrektur erfahren von Regnault, Magnus und Jolly, aus deren Versuchen hervorgeht, dass weder für ein und dasselbe Gas Spannungs- und Ausdehnungskoeffizient völlig gleich und konstant, noch für verschiedene Gase die Koeffizienten dieselben sind. — Eine ähnliche Korrektur war das erste Keplersche Gesetz für die Kopernikanische Lehre, dass die Planeten sich in Kreisen bewegten; aber auch dieses Keplersche Gesetz entspricht nicht genau der Wirklichkeit, insofern es die Störungen eines Planeten durch die übrigen nicht berücksichtigt. — Die Fallgesetze geben den Verlauf des Fallens im luftleeren Raume wieder und würden weit komplizierter sein, wenn der mit der Geschwindigkeit des fallenden Körpers veränderliche und auch von seiner Gestalt abhängige Luftwiderstand in Rechnung gezogen würde.

3. Charakter und Wert der Induktion; Grundlagen unserer Kausalitätsvorstellung.

1. Es erübrigt nun noch, einen Blick auf die Art und Weise im allgemeinen zu werfen, wie die Gesetze zustande kommen. Der Ausgangspunkt war die Beobachtung und Untersuchung einzelner Naturerscheinungen. Würde man die Gültigkeit des Gesetzes ausdrücklich auf die untersuchten Fälle beschränken, so wäre es ganz und gar der Erfahrung entnommen. Aber über diesen Kreis geht das Naturgesetz hinaus; wie schon seine Form anzeigt, erblicken wir darin nicht nur die Regel für die untersuchten Vorgänge, sondern für alle Erscheinungen derselben Art. Wir wenden also hierbei ein eigentümliches Verfahren, die Induktion, an, indem wir die an einzelnen Thatsachen gemachten Beobachtungen verallgemeinern und zu allgemeingültigen Gesetzen erheben.

Die Allgemeingültigkeit der Naturgesetze ist die notwendige Voraussetzung ihrer Anwendung in der Wissenschaft und Technik. Und wenn sich, wie oben dargelegt, Abweichungen von bisher anerkannten Gesetzen herausstellen, so ziehen wir nicht etwa

daraus den Schluss, dass eine und dieselbe Erscheinung bald so und bald anders verläuft, sondern dass voreilig ein Gesetz über eine Anzahl Erscheinungen ausgedehnt wurde, die zwar verwandt aber doch nicht ganz gleichartig sind. Das wahre Naturgesetz kennt keine Ausnahme und unterscheidet sich hierdurch von den Gesetzen der Sprache und des geistig-geschichtlichen Lebens überhaupt, denen das Übergewicht des Individuellen nur das Gepräge einer Durchschnittsregel verleiht.

2. Wie dürfen wir aber es wagen, die durch einzelne Beobachtungen gefundene Regel zu verallgemeinern? Worauf beruht die Berechtigung der Induktion? Diese Frage ist nicht etwa damit erledigt, dass man sagt, wir hätten trotz unzähliger Versuche und Beobachtungen noch keine Thatsache gefunden, die geeignet wäre, Zweifel an der Allgemeingültigkeit eines Naturgesetzes zu erregen.

Baco, dem wir die erste theoretische Untersuchung dieser Frage verdanken, ist der Ansicht, nur eine vollständige Induktion habe wissenschaftlichen Wert; damit wäre aber der Induktion die wissenschaftliche Berechtigung überhaupt abgesprochen, da es nicht möglich ist, die Erfahrung nach Raum und Zeit vollständig zu erschöpfen. — Nach Mill ist die Induktion im Grunde ein Schluss nicht vom Einzelnen auf das Allgemeine, sondern vom Einzelnen auf das Einzelne, indem wir in den nicht beobachteten ähnlichen Fällen auch einen ähnlichen Verlauf erwarten. Diese Erwartung ist aber nur dann begründet, wenn die Regelmässigkeit alles Geschehens vorausgesetzt wird, die Mill als eine *inductio per enumerationem simplicem* auffasst. Das ist aber logisch nicht zulässig, denn diese letztere Induktion müsste ja schliesslich das ganze Gebiet der Erfahrung, das sich nicht erschöpfen lässt, umfassen und soll andererseits wieder die Voraussetzung aller einzelnen Induktionen sein.

3. Die Frage, welchen Wert die Induktion eines einzelnen Gesetzes hat, hängt offenbar aufs Innigste zusammen mit unserer allgemeinen Ansicht von der Gesetzmässigkeit des Naturgeschehens überhaupt. Und die Überzeugung, dass alles in der Natur nach bestimmten Regeln und Gesetzen

verläuft, ruht ihrerseits wiederum auf einer unserem Geiste eigentümlichen Auffassung der Beziehung zwischen der Erscheinung und ihren Bedingungen; mit unseren Sinnen wahrnehmen können wir nur die zeitliche Aufeinanderfolge der Vorgänge, indessen verknüpfen wir hiermit ausnahmslos und von Kind auf an die Begriffe der Ursache und Wirkung, indem wir in der Erscheinung die notwendige Wirkung einer in den Bedingungen liegenden Ursache erblicken.

Selbst der uncivilisierte Mensch kann sich diesem inneren Zwange nicht entziehen; wenn er das Rollen des Donners auf den Wagen eines Gottes zurückführt oder den Fetisch bittet, ihm dienstbar zu sein, so geschieht dies doch nur deshalb, weil er mangels einer reineren Erkenntnis in diesen Wesen die wirkenden Ursachen gegenwärtiger oder zukünftiger Erscheinungen zu erkennen glaubt. — Auch das Kind erwartet auf eine bekannte Ursache stets die bekannte Wirkung eintreten zu sehen; und in den Fragen der Kinder prägt sich nicht reine Neugier aus, sondern hier zeigen sich die ersten Spuren des Triebes nach kausaler Erkenntnis.

4. Von der rohen Stufe der Kausalitätsvorstellungen beim Wilden und beim Kinde bis zu der wissenschaftlichen Überzeugung, dass alle Naturerscheinungen sich in endloser Reihe wechselseitig als Ursache und Wirkung bedingen, ist zwar noch ein weiter Schritt. Auch schliesst der völlig ausgebildete Begriff der Kausalität nicht bloss die Überzeugung ein, dass jede Veränderung auf eine Ursache zurückzuführen ist, sondern dass auch aus gleichen Ursachen unter sonst gleichen Umständen gleiche Wirkungen hervorgehen.

Von gleichen Beweggründen wie der Wilde lässt sich auch der Ungebildete vielfach leiten, wenn er bei solchen Vorgängen, deren Ursache er ihrer Seltenheit oder Absonderlichkeit wegen nicht erkennt, dem Aberglauben anheimfällt. — Die wissenschaftliche Ansicht von dem ursächlichen Zusammenhang alles Geschehens fand ihre erste klare Darstellung in dem Galileischen

Trägheitsgesetz, da dieses aussagt, dass ein Körper nicht von selbst, d. h. nicht ohne eine Ursache, seinen Zustand ändern könne. Auch die beiden Fundamentalsätze der exakten Naturwissenschaften, das Gesetz von der Unzerstörbarkeit der Materie und der Erhaltung der Energie, sind schliesslich nur weitere Ausführungen desselben Gedankens.

5. Worauf ruht aber denn nun diese Überzeugung? Ist es nur die Macht der Gewohnheit, die uns unter gleichen Bedingungen den gleichen Erfolg erwarten lässt? Oder stützt sich diese Ansicht auf das sturmteste Gerüst vollwichtiger Beweise? Oder endlich ist sie eine Sache des Glaubens?

Es würde an dieser Stelle zu weit führen, die vorliegende Frage bis in ihre letzten Konsequenzen zu verfolgen. Wie wichtig sie gleichwohl für das ganze Gebäude der Philosophie ist, erhellt aus der Thatsache, dass die grössten Denker aller Nationen an ihrer Lösung ihre Kraft versucht haben, manche sogar, wie Kant, diesen Versuchen den Ausgangspunkt ihrer ganzen Philosophie verdanken. Doch können uns alle Beweise, die mit dem grössten Scharfsinn für die Kausalität des Geschehens erdacht worden sind, nicht befriedigen. Soviel scheint festzustehen, dass unsere Überzeugung von dem ursächlichen Zusammenhang der Naturereignisse im Grunde genommen nur eine Sache des Glaubens ist, aber nicht eines blinden Glaubens, der der Willkür Thor und Thür öffnet. Denn abgesehen davon, dass in Millionen und Abermillionen von Fällen eine solche Gesetzmässigkeit beobachtet worden ist, findet dieser Glaube eine wesentliche Stütze an der Thatsache, dass ohne Annahme einer allgemeinen Kausalität jede Erkenntnis bereits im Entstehen zunichte würde, von einer Erreichung des Ideals der Wissenschaft (s. Einl.) überhaupt nicht die Rede sein könnte, und an der begründeten Vermutung, dass die Auffassung des Zusammenhanges zwischen einer

X
Erscheinung und ihren Bedingungen als einer notwendigen Verknüpfung von Ursache und Wirkung durch die Organisation unseres Geistes bedingt ist. Hinsichtlich des ersten Punktes können wir also die Regelmässigkeit alles Geschehens als eine Forderung (ein Postulat) des Verstandes bezeichnen. Weil wir die Welt begreifen wollen, deshalb muss sie begreiflich sein. Auf den zweiten Punkt wird noch zurückzukommen sein.

In dem Begriff der Notwendigkeit liegt es, dass die Naturgesetze so oft den Sittengesetzen bezüglich ihres Charakters gleichgestellt werden. Denn das Gesetz: „Wird der Druck auf ein Gas verdoppelt, so verkleinert sich sein Volumen auf die Hälfte“ nimmt nur zu leicht die Fassung an: „Wird der Druck auf ein Gas verdoppelt, so muss sich sein Volumen auf die Hälfte verkleinern.“ Diese Notwendigkeit erscheint hier als eine über den Naturgesetzen schwebende Macht — daher auch häufig die Redensart: die Erscheinung gehorcht dem Gesetz —, während sie doch im Grunde nur eine solche ist für unser Denken, die wir in die Erscheinungen hineinlegen, anstatt sie aus ihnen herauszulesen.

6. Hiermit gewinnen die beiden allgemeinsten Sätze der Naturwissenschaft, das Trägheitsgesetz und das Gesetz von der Erhaltung der Energie, den Charakter von Axiomen oder Grundsätzen, die keines Beweises fähig, aber auch nicht bedürftig sind, in welcher Form sie auch ihren Entdeckern (Galilei und Robert Mayer) vorgeschwebt haben. Sie sind also Erfahrungsgesetze nicht in dem Sinne, als ob sie mit voller Strenge aus der Erfahrung abgeleitet werden könnten, sondern nur insofern, als sie aus der Erfahrung hervorgegangen sind und in jedem einzelnen Falle durch diese bestätigt werden können, während ihre Allgemeingültigkeit nur eine Sache unmittelbarer oder mittelbarer Überzeugung sein kann.

Für den zweiten Teil des Trägheitsgesetzes, dass ein Körper ohne äussere Ursache seine Bewegung nicht ändert, finden wir

sogar in der ganzen Natur nur ein einziges genaues Beispiel in der Achsendrehung der Erde. Indessen scheint die Rechnung von Laplace, wonach die Umdrehungszeit der Erde sich von der Zeit Hipparchs bis auf unsere Tage noch nicht um $\frac{1}{300}$ Sekunde geändert habe, nicht frei von Fehlerquellen zu sein, da nach den neueren Berechnungen von Adams im Laufe eines Jahrtausends eine Verlängerung um $\frac{1}{100}$ Sekunde eingetreten ist. — Das Energiegesetz ist nicht ein reines Produkt der Erfahrung, sondern es waren wesentlich spekulative Gründe, die R. Mayer auf seine Entdeckung führten. Auch ist es für ganze Gattungen von Erscheinungen keineswegs bewiesen und vorläufig auch gar nicht beweisbar, da wie z. B. auf dem Gebiete der Optik die absolute Messung von Lichtintensitäten und die Vergleichung mit mechanischen Massen auf die grössten Schwierigkeiten stösst.

7. In der kausalen Auffassung des Zusammenhangs der Naturerscheinungen liegt zugleich der Grund, weshalb unser Erkenntnistrieb durch die Aufstellung empirischer Gesetze noch nicht völlig befriedigt ist. Ist die Wirkung notwendig mit der Ursache verknüpft, so bleibt der denkende Geist nicht bei der Erkenntnis der Bedingungen und des Verlaufs einer Erscheinung stehen, sondern verlangt auch noch Antwort auf die Fragen: Weshalb tritt die Erscheinung unter diesen Bedingungen ein? Inwiefern ist in jenen Bedingungen die Ursache der Erscheinung enthalten?

Die empirischen Gesetze sind wesentlich beschreibender Art, da sie nur festgestellte Thatsachen verallgemeinern; aber in ihrer experimentellen Erforschung, in der Auswahl der als wesentlich erkannten Bedingungen und in der Ermittlung des mathematischen Zusammenhanges bereitet sich die kausale Fassung dieser Gesetze vor.

4. Der Schluss aus dem Zeichen. *(Anzeichen!)*

1. Der eigentlichen Induktion nahe verwandt ist der Schluss aus dem Zeichen (indicium). Darunter versteht man im einfachsten Falle den Schluss von gleichen Er-

scheinungen auf gleiche Ursachen oder Bedingungen. Dieser Schluss ist aber nur dann der Induktion verwandt, wenn in einer Reihe von Fällen die Bedingungen einer Erscheinung thatsächlich bekannt sind, während in dem gerade beobachteten Falle wohl die unmittelbare Wahrnehmung derselben Erscheinung, nicht aber die ihrer Bedingungen möglich ist. Sind dagegen die Bedingungen überhaupt unbekannt, so ist ihre Ermittlung nicht mehr Sache der Induktion, sondern der die Grenzen der Wirklichkeit überschreitenden Einbildungskraft (s. den nächsten Abschnitt).

Wenn in unzähligen Fällen beobachtet worden ist, dass die Ohrenquallen sich aus dem Ei in überall gleichen Metamorphosen entwickeln, so pflegt man mit Recht eine gleiche Entwicklung auch für alle übrigen Ohrenquallen anzunehmen. — Desgleichen ist festgestellt worden, dass eine Reihe von Schneckengehäusen, die in den Gesteinsschichten aufgefunden worden sind, aufs genaueste denen gleichen, die von jetzt noch lebenden Arten gebildet werden. Da nun keine andere Erzeugungsart dieser Gebilde bekannt oder auch nur denkbar ist, so schliesst man, dass auch jene denselben Ursachen, also der Lebensthätigkeit derselben Wesen ihren Ursprung verdanken. — So schliesst man ferner von dem Vorkommen von Lava und Basalt auf vulkanische Thätigkeit, aus der Schichtung der Gesteine auf ihre Ablagerung aus dem Wasser u. s. w. — Das Indicium ist in den einzelnen Fällen: die Organisation der entwickelten Ohrenqualle, die Gestalt und Beschaffenheit der Schneckengehäuse, das Gefüge der Lava, des Basalts und der Sedimentgesteine.

2. In manchen Fällen schliesst man auch von gleichen Erscheinungen nicht gerade auf gleiche Ursachen, sondern auf gleiche Begleiterscheinungen, die mit jenen zusammen vielleicht derselben Ursache entspringen.

Den Donner kann man nicht wohl als eine Wirkung des Blitzes auffassen, obwohl er ihm beständig folgt; beide sind vielmehr die gemeinsame Wirkung einer gemeinsamen Ursache, nämlich des elektrischen Ausgleichs. So schliesst man denn

aus der Wahrnehmung des Blitzes auf die Entstehung des Donners, wenn man ihn, wie beim Wetterleuchten, auch nicht hört, und umgekehrt.

3. Vergleichen wir den Schluss aus dem Zeichen mit der eigentlichen Induktion, so zeigt sich, dass die letztere im Grunde genommen auf dem Satze beruht: Gleiche Ursachen bringen unter sonst gleichen Verhältnissen gleiche Wirkungen hervor, der ja der allgemeinste Ausdruck für unsere Überzeugung von der Kausalität alles Geschehens ist. Dagegen stützt sich der Schluss aus dem Zeichen in den meisten Fällen auf den Satz: Gleiche Wirkungen entspringen gleichen Bedingungen, ein Satz, der keineswegs so unmittelbar einleuchtend ist wie der obige und zuweilen sogar geradezu falsch ist, da in der That unter Umständen gleiche Wirkungen aus verschiedenen Ursachen hervorgehen können.

Dass der letztere Satz nicht ohne weiteres einleuchtend ist, zeigt sich daran, dass vor noch nicht langer Zeit einige Naturforscher die in den Gesteinsschichten gefundenen Schneckengehäuse trotz ihrer Übereinstimmung mit denen noch lebender Arten für „Naturspiele“, also Werke des Zufalls bezeichneten. Trotzdem aber lassen wir uns von diesem Satz im praktischen Leben beständig und ohne jedes Bedenken leiten. Niemand zweifelt, wenn er z. B. Gegenstände des täglichen Gebrauchs sieht, daran, dass diese auf dieselbe Weise entstanden sind, wie die gleichen Dinge derselben Art. — Andererseits muss aber zugestanden werden, dass gleiche Wirkungen auch verschiedenen Ursachen entspringen können. So entsteht die Empfindung eines Lichtscheines in uns nicht bloss bei Einwirkung der Lichtstrahlen auf unsere Netzhaut, sondern auch durch einen auf das Auge ausgeübten Stoss oder bei der elektrischen Erregung und beim Zerschneiden des Sehnerven. Lackmustinktur wird von Schwefelsäure rot gefärbt; trotzdem wäre es falsch, von der Rotfärbung der Lackmuslösung stets auf die Einwirkung von Schwefelsäure zu schliessen, da auch die anderen Säuren die gleiche Wirkung hervorbringen. — Möglich ist hierbei aller-

dings und in manchen Fällen sogar wahrscheinlich, dass die scheinbar gleichen Wirkungen doch nicht genau übereinstimmen; aber immerhin sind wir vielfach nicht imstande, die Wirkungen so genau miteinander zu vergleichen, dass wir ihre Unterschiede erkennen. So lässt sich aus dem Aufflammen eines glimmenden Holzspans in einem Gase nicht ohne weiteres auf Sauerstoff schliessen (es könnte z. B. auch Stickoxydulgas sein); erst die Untersuchung anderer glimmenden Körper in demselben Gase oder der zurückbleibenden Luftart würde einen genaueren Schluss zulassen.

4. Dem Schluss aus dem Zeichen haftet also eine gewisse Unsicherheit an, die durch kein Mittel ganz zum Verschwinden gebracht werden kann. Doch lässt sich erwägen, welche Gründe die Wahrscheinlichkeit eines solchen Schlusses erhöhen können. Da zeigt sich nun, dass es zunächst darauf ankommt, die Erscheinungen (Zeichen) möglichst genau auf ihre Gleichheit zu untersuchen, sowohl nach Qualität als auch besonders nach Quantität. Erst durch den Nachweis, dass die in Rede stehenden Erscheinungen in der That genau gleich sind, gewinnt der Schluss aus dem Zeichen an Wahrscheinlichkeit, zumal wenn keine andere Ursache bekannt oder denkbar ist, die jene Erscheinung auch hervorrufen könnte. Er würde sogar absolut gewiss sein, wenn sich zeigen liesse, dass das bestimmte Zeichen nur der einen Sache und keiner anderen zukommt; indessen ist dieser Nachweis im strengsten Sinne nicht möglich, da wir die Erfahrung nach Raum und Zeit nicht erschöpfen können. Setzt sich nun aber die beobachtete Erscheinung aus einer ganzen Reihe von einzelnen Merkmalen oder Einzelercheinungen zusammen und stimmt sie in allen diesen Merkmalen aufs genaueste mit den anderen zum Vergleich herangezogenen Erscheinungen überein, so nähert sich der auf gleiche Ursachen lautende Schluss fast der Gewissheit.

Mit Rücksicht darauf, dass der Schatten einer Kugel bei jedem Querschnitt Kreisform besitzt, schloss Aristoteles aus der stets

gleichen Rundung des Erdschattens bei Mondfinsternissen auf die Kugelgestalt der Erde, während Ptolemäus behauptete, dass auch das Meer an der Rundung teilhabe, weil die Masten bei ankommenden Schiffen zuerst sichtbar werden, bei abgehenden zuletzt verschwinden. — Auch in der Chemie spielt der Schluss aus dem Zeichen eine grosse Rolle, wie jede qualitative Analyse beweist. Die Entstehung eines weissen Niederschlags in einer Lösung von Bariumchlorid weist nicht unbedingt auf die Einwirkung von Schwefelsäure hin; erst, wenn gezeigt ist, dass auch dann ein solcher Niederschlag entsteht, wenn die Bariumchloridlösung vorher mit Salpetersäure oder Salzsäure übersättigt ist, ist der Schluss auf Schwefelsäure oder Schwefelsäuresalze berechtigt, da keine andere chemische Verbindung bekannt ist, die dieselbe Wirkung hervorbringt. — Das Argon in der atmosphärischen Luft ist trotz so mannigfacher Untersuchungen der letzteren deshalb erst so spät entdeckt worden, weil eben jenes Gas wie auch der Stickstoff sich durch fast gar keine positiven Wirkungen auszeichnen, die einen Schluss aus dem Zeichen ermöglicht hätten, denn man kann natürlich auch von verschiedenen Wirkungen auf verschiedene Ursachen schliessen. —

Das Spektrum des Sonnenlichts weist eine grosse Anzahl von dunklen Linien, die Fraunhoferschen Linien, auf, deren gegenseitige Lage bei Prismen aus demselben Stoffe stets die gleiche ist, während sie sich mit dem Stoff etwas ändert. Diese Linien fallen in ihrer Lage zum grössten Teil mit den hellen Linien ganz scharf zusammen, aus denen das Spektrum gewisser glühenden Gase besteht; so decken sich z. B. mehrere Hundert solcher Fraunhoferschen Linien mit den hellen Linien glühenden Eisendampfes. Es lässt sich nun experimentell zeigen, dass die hellen Linien glühender Dämpfe sich in dunkle verwandeln, wenn von einer hinter den glühenden Dämpfen befindlichen Lichtquelle sehr intensives helles Licht durch diese hindurch in den Spektralapparat fällt. Glühende Gase vermögen also gerade die Strahlen zu absorbieren, die sie selbst aussenden. Es ist demnach der Schluss möglich, dass auch das Sonnenlicht z. B. durch in der Photosphäre vorhandene glühende Eisen-

dämpfe zum Teil absorbiert wird. Man schliesst also hier von einer thatsächlich wahrzunehmenden Absorption auf eine unserer unmittelbaren Beobachtung entzogene Absorption in der Sonnenatmosphäre. Natürlich ist hierbei festzustellen, ob noch andere Möglichkeiten einer Erklärung vorliegen. Die Annahme, dass dem Sonnenlicht gerade diejenigen Strahlen fehlen sollten, die von glühenden Eisendämpfen ausgesandt werden, ist an und für sich unwahrscheinlich und wird durch die Thatsache widerlegt, dass die hellen Eisenlinien auftreten, sobald man das Spektroskop auf den Sonnenrand richtet, wo hinter der Sonnenatmosphäre keine intensive Lichtquelle vorhanden ist. Auch weist die grosse Zahl der übereinstimmenden Linien darauf hin, dass nicht etwa ein anderer uns noch unbekannter Stoff dieselbe Wirkung wie Eisen hervorrufen könnte. Immerhin können aber eine Reihe von Linien nicht auf die irdischen Stoffe zurückgeführt werden; für diese Linien bleibt also die Annahme übrig, dass sie etwa uns noch unbekannten Stoffen ihren Ursprung verdanken — neuerdings ist ja ein solcher Stoff, das Helium, in irdischen Gesteinen entdeckt worden —, oder dass sie durch eine andere Absorption entstehen, und in der That zeigt die genaue Betrachtung des Sonnenspektrums bei niedrigem Sonnenstande gewisse Linien, die mit zunehmender Sonnenhöhe immer mehr verschwinden, also durch Absorption in der Erdatmosphäre entstehen.

Die Fraunhoferschen Linien weisen also als Indicium auf das Vorhandensein einer ganzen Reihe von irdischen Stoffen in der Sonnenatmosphäre sowie eines glühenden festen oder flüssigen Kerns hin, denn, soweit uns bekannt, haben nur in diesen Aggregatzuständen die Körper ein kontinuierliches Spektrum. So wird also das Sonnenspektrum mit seinen dunklen Linien nun wieder selbst ein Indicium für die Natur des Sonnenlichts, so dass wir aus einem Spektrum von gleicher Beschaffenheit auf Sonnenlicht zu schliessen pflegen. Für die Planeten, die ein solches Spektrum besitzen, nehmen wir an, dass sie Sonnenlicht reflektieren, während dunkle Linien, die neben den Fraunhoferschen auftreten, auf das Vorhandensein einer Atmosphäre hinweisen, ihr Fehlen hingegen, wie beim Monde, den Mangel einer Atmosphäre wahrscheinlich macht.

5. Der Schluss aus der Ähnlichkeit.

1. Weit unsicherer als der Schluss aus dem Zeichen ist der Schluss aus der Ähnlichkeit (Analogie). Hierbei gilt es, aus ähnlichen Bedingungen auf ähnliche Erscheinungen oder aus ähnlichen Vorgängen auf ähnliche Ursachen oder schliesslich aus ähnlichen Erscheinungen auf ähnliche Begleiterscheinungen zu schliessen.

Aus den auf Seite 30 angeführten Schlüssen werden Analogieschlüsse, wenn man aus dem Umstande, dass alle lebenden Wesen, deren Entstehung man beobachtet hat, sich aus einer oder wenigen Urzellen, dem Ei, entwickeln, folgert, dass alle Lebewesen, auch die nicht untersuchten Arten, aus dem Ei entstehen (*omne vivum ex ovo*), oder dass alle in den Gesteinsschichten gefundenen Schneckengehäuse durch die Lebensthätigkeit von Schnecken entstanden sind. — Zwischen Erde und Mars besteht eine gewisse Ähnlichkeit, denn der Mars besitzt eine Atmosphäre, Wechsel der Jahreszeiten, Schnee, Wasser u. s. w. Hieraus hat man den Schluss gezogen, dass auch die übrigen, auf der Erde vorhandenen Bedingungen des Lebens dort erfüllt seien, und das Vorhandensein einer Vegetation oder selbst tierischer und menschlicher Wesen als wahrscheinlich behauptet. — Aus der Ähnlichkeit der auf dem Mond wahrnehmbaren Gebilde mit den Kratern unserer Vulkane hat man gefolgert, dass jene in der That vulkanischen Ursprungs seien. Wie unsicher aber dieser Schluss ist, geht daraus hervor, dass es in neuerer Zeit gelungen ist, durch Hineinfallenlassen eines Körpers in eine zähflüssige Masse experimentell Gebilde hervorzurufen, deren photographische Abbildung von denen der Mondgebilde kaum zu unterscheiden ist, so dass möglicherweise die letzteren auch auf den Einsturz von Meteoriten zurückgeführt werden könnten.

2. Es ist klar, dass man nicht gut allgemeine Regeln für die Wahrscheinlichkeit eines Schlusses aus der Analogie angeben kann. In jedem einzelnen Falle muss offenbar die Ähnlichkeit möglichst genau untersucht, auch die nicht

übereinstimmenden Merkmale verglichen und festgestellt werden, ob die Ähnlichkeit für den beabsichtigten Schluss wesentlich ist oder nicht. Auch ist leicht einzusehen, dass zwischen dem Schluss aus der Ähnlichkeit und dem aus dem Zeichen keine scharfe Grenze besteht, indem der erstere mit zunehmender Ähnlichkeit allmählich in den letzteren übergeht.

Da das Sonnenspektrum als Zeichen der Natur des Sonnenlichts und in weiterem Sinne der Beschaffenheit der Sonne selbst angesehen werden kann, so schliesst man von den ähnlichen Spektren der Fixsterne auch auf einen ähnlichen Zustand, insofern man auch die Fixsterne für glühende Massen mit weniger heissen Atmosphären hält, während die Ähnlichkeit zwischen den Spektren glühender Gase und denen der Kometen sowie der meisten Nebelflecke einen Schluss auf deren physische Beschaffenheit gestattet. — Die Überzeugung von dem innigen Zusammenhang der ganzen Organisation eines Tieres mit der seiner einzelnen Teile erlaubte Cuvier, nach Analogie des an den noch lebenden Tieren erkannten Baues von einem Unterkiefer eines vorsündflutlichen Tieres auf die Beschaffenheit des ganzen Knochengebäudes zu schliessen.

III. Kausalgesetz und Hypothese.

1. Kräfte als Ursache der Erscheinungen.

1. Das empirische Gesetz geht, abgesehen davon, dass die an einzelnen Fällen beobachteten Thatsachen verallgemeinert werden, über den Kreis unserer Erfahrung nicht hinaus. Sobald es sich aber darum handelt, den inneren Zusammenhang einer Erscheinung mit ihren Bedingungen zu erkennen, um dem kausalen Bedürfnis unseres Geistes gerecht zu werden, verlassen wir diesen sicheren Boden. Denn in dem Erfahrungsgesetz ist bereits alles niedergelegt, was wir hinsichtlich der beobachteten Erscheinung mit unseren Sinnen erforschen können. Der innere Zusammenhang aber ist unserer sinnlichen Wahrnehmung verborgen; bezüglich seiner können wir nur vermuten, nicht unmittelbar erkennen; alles was über das empirische Gesetz hinausgeht, ist also hypothetisch und kein sicheres Wissen.

Die Keplerschen Gesetze: 1. Die Planeten bewegen sich in Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht; 2. Die Leitstrahlen beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume; 3. Die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten verhalten sich wie die Kuben ihrer halben grossen Achsen, sind nichts anderes als ein zusammenfassender Auszug aus einer verwirrenden Fülle von beobachteten Thatsachen; gänzlich hypothetisch ist aber die Newtonsche Annahme, dass diese Bewegungen unter dem Einfluss einer gegenseitigen Anziehungskraft zwischen der Sonne und den einzelnen Planeten erfolgen. — Nur der Erfahrung entsprossen ist das von Richter entdeckte und von Berzelius bestätigte stöchiometrische Grundgesetz, dass die chemischen Ele-

mente sich stets in ganz bestimmten, konstanten Gewichtsverhältnissen verbinden; die hierauf sich gründende Annahme von Atomen und deren relativen Gewichten hingegen gehört in das Reich der Hypothesen, während die Atomgewichte (oder ihre Vielfachen) erfahrungsmässig nur den Sinn von Verbindungsgewichten haben können. Das Daltonsche Gesetz, dass die Gase sich nach einfachen Volumenverhältnissen verbinden, ist gleichfalls rein empirisch; Hypothese aber ist die Ansicht Avogadros, dass in gleichen Räumen gleich viel Moleküle der Gase enthalten sind. — Die Gesetze: 2 Raumteile Wasserstoff vereinigen sich mit 1 Raumteil Sauerstoff zu 2 Raumteilen Wasserdampf oder 1 g Wasserstoff mit 8 g Sauerstoff zu 9 g Wasser, gehen unmittelbar aus den Thatsachen hervor; die Formel H_2O für Wasser ist aber rein hypothetisch.

2. Dieses Streben, das innere Wesen der Dinge zu erkennen, entspringt, wie oben schon angezeigt, der Auffassung des Zusammenhangs zwischen einer Erscheinung und ihren Bedinguugen als eines Verhältnisses von Wirkung und Ursache. Wir haben also in den bereits festgestellten Bedingungen die verborgene Ursache zu entdecken, als deren Wirkung die Erscheinung selbst eintritt.

Die Begriffe Ursache und Bedingung begegnen bei den einzelnen Forschern sehr verschiedenen Auffassungen. Dies möge an einem einfachen Beispiel erläutert werden. Ein an einem Faden hängender Stein fällt beim Durchschneiden des Fadens zu Boden. Welches ist nun die Ursache, welches sind die Bedingungen des Falles? Einige sind der Ansicht, das Durchschneiden des Fadens sei die Ursache, die Anziehungskraft der Erde aber die dauernde Bedingung des Falles; andere hingegen sehen die Schwerkraft als die Ursache an, die aber nur unter der Bedingung wirken könne, dass der Faden durchschnitten wird; noch andere meinen, der Stein falle deshalb, weil er vorher in die betreffende Höhe gehoben sei.

3. Die Ursache soll uns den inneren Zusammenhang zwischen der Erscheinung und ihren Bedingungen enthüllen;

diesen glauben wir aber erst zu erkennen, oder wenigstens seiner Erkenntnis nahe zu kommen, wenn es gelingt, die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen auf möglichst wenige Ursachen zurückzuführen. Lässt sich der Satz: Gleiche Ursachen, gleiche Wirkungen, auch nicht umkehren, so ist es doch offenbar zweckmässig, die Ursache einer Erscheinung in derjenigen Bedingung zu suchen, die in möglichst vielen und verschiedenen Fällen stets dieselbe ist und deren Erforschung uns daher in der Erkenntnis am weitesten führt, indem sie das gemeinsame Band für die verschiedenen Arten der Erscheinung aufdeckt. Dies zeigt sich schon darin, dass man sich kaum die Mühe geben würde, für eine einzelne, nur einmal vorkommende Erscheinung nach der Ursache zu suchen, während man von jeher mit dem grössten Eifer darauf bedacht gewesen ist, für grössere Gruppen von Vorgängen die gemeinsame Ursache zu entdecken.

Die in dem vorhergehenden Beispiele genannten Umstände entsprechen ohne Zweifel notwendigen Bedingungen des Fallens, denn der Fall setzt sicherlich das Vorhandensein von Erde und Stein, die Abwesenheit eines Bewegungshindernisses wie auch einen gegenseitigen Abstand voraus. Aber diese Bedingungen können im einzelnen auf die verschiedenste Weise erfüllt sein. Der Stein kann am Rande eines Abgrundes liegen oder in die Höhe gehoben oder vielleicht als Meteor aus fernen Welten in die Nähe der Erde gekommen sein. Auch das Hindernis kann auf verschiedene Weise beseitigt werden, sei es nun dass der Faden durchschnitten oder eine Unterlage entfernt wird oder der in die Höhe geschleuderte Stein am höchsten Punkte wieder umkehrt. Es bleiben also schliesslich nur Erde und Stein selbst als solche Objekte übrig, in denen die verborgene Ursache des Falles enthalten sein kann, und deshalb pflegen wir ihnen eine gegenseitige Anziehungskraft zuzuschreiben.

4. Um die Ursache einer Erscheinung zu finden, haben wir also ein Vergleichsverfahren anzuwenden. Dieses führt

zur Annahme von anziehenden und abstossenden Kräften, die von Körper zu Körper wirken.

Hierbei waltet im Grunde genommen eine gewisse Personifikation ob, insofern die Vorstellung von wirkenden Kräften vom Menschen selbst ausgeht. Die einzige Kraft nämlich, deren Thätigkeit wir uns unmittelbar bewusst werden, ist die unserer Muskeln; auch die Worte „anziehen“ und „abstossen“ deuten auf diesen Ursprung hin. Es ist also in der That nicht zu leugnen, dass aus der eigenen Natur des Menschen die Vorstellung von Kräften entspringt; aber wo wäre dies anders? Überall, wo wir den sicheren Boden der Thatsachen verlassen, finden wir Anknüpfungspunkte nur in dem eigenen Bewusstsein.

2. Art und Bedeutung der Kausalgesetze.

1. Führen wir nun den Zusammenhang zwischen der Erscheinung und ihren Bedingungen auf wirkende Kräfte zurück, so gilt es über die Wirkungsweise dieser Kräfte solche Annahmen zu machen, dass sich hieraus das Gesetz der Erscheinung mit voller Strenge ergibt. Eine solche Angabe über die konstante Wirkungsweise einer Kraft nennen wir ein Kausalgesetz.

Ein Kausalgesetz ist z. B. das allgemeine Gravitationsgesetz: Alle Körper ziehen sich mit einer Kraft an, die dem Produkt der Massen gerade und dem Quadrat der Entfernung umgekehrt proportional ist. In diesem vollkommenen Zustande befinden sich übrigens bei weitem nicht alle Kausalgesetze; so sind wir z. B. noch gänzlich im ungewissen über die quantitative Wirkungsweise der chemischen Verwandtschaft. Demnach lassen sich auch hier qualitative und quantitative Gesetze unterscheiden; auch bezüglich des Umfanges könnten ähnliche Betrachtungen angestellt werden wie bei den empirischen Gesetzen. Das letzte Ziel ist auch hier, alle Gesetze wenn möglich auf ein einziges zurückzuführen.

2. Die Einführung von wirkenden Kräften giebt uns an sich keine neue Erkenntnis; sie ist nur eine Hülfsvor-

stellung zur Erklärung und Verbindung von Thatsachen. Denn ob wir sagen: Gleichnamig elektrische Körper „bewegen sich von einander fort“ oder „stossen sich ab“, ist im Grunde genommen dasselbe, da wir weder die abstossende Kraft selbst wahrnehmen, noch uns vorstellen können, in welcher Weise sie wirkt. Die Annahme von Kräften schiebt also die Frage nach dem Grund der Erscheinungen nur etwas weiter zurück und gewährt nur eine vorläufige, keine endgültige Befriedigung unseres Erkenntnistriebes. Gleichwohl ist das Kausalgesetz von bedeutendem Wert, da es eine Reihe verwandter Erscheinungen zusammenfasst, indem es sie auf eine gemeinsame Ursache zurückführt.

Ohne die Voraussetzung einer allgemeinen Gravitation würden die Bewegungen des freien Falls, des Wurfes, des Mondes um die Erde und der Planeten um die Sonne nichts miteinander gemein haben. Das einfache Newtonsche Gesetz verknüpft alle diese Erscheinungen zu einem geordneten Ganzen und lässt eine mathematische Ableitung der Einzelbewegungen zu.

3. Und selbst, wenn der Grundgedanke, dass es Kräfte giebt, die von Körper zu Körper in die Ferne wirken, falsch wäre, so würde man immer noch berechtigt sein zu sagen, dass die Körper sich so bewegen, als ob jene Kräfte wirksam wären.

Von jeher hat man bei der Annahme der Fernwirkung von Kräften ein gewisses Unbehagen empfunden, das offenbar in der mangelnden Anschaulichkeit jenes Wirkens begründet ist, und immer wieder treten Versuche auf, alle Bewegungen auf Druck und Stoss als Ursache zurückzuführen. So ist verschiedentlich (Isenkrahe) die Meinung verfochten worden, der Körper falle nicht deshalb zur Erde, weil er von ihr angezogen werde, sondern weil er von aussen einen Druck (nämlich den des Äthers) erfahre. — Newton selbst sagt, es sei gleichgültig für seine Ableitungen, welche von beiden Annahmen man mache; es genüge festzustellen, dass die Körper sich so bewegen, als

ob sie angezogen würden. Es sollen also nicht die Schwierigkeiten verkannt werden, mit denen der Geist in der Erfassung dieser „Fernkräfte“ zu kämpfen hat, Schwierigkeiten, die Newton eben dazu führten, das Forschen nach der *causa gravitatis* als unnütz zu verwerfen. Auch mag erwähnt werden, dass in neuerer Zeit Bestrebungen (Ostwald) sich geltend gemacht haben, den Begriff der Kraft durch den der Energie ganz zu verdrängen. Indessen fehlt es diesen Bestrebungen, wenigstens heutzutage, an innerer Kraft — da es (nach Hertz) noch kein Lehrbuch der Mechanik giebt, das sich von vornherein auf den Standpunkt der Energielehre stellte und diese bis in alle Einzelheiten durchführte, — und daher auch an allgemeiner Anerkennung. Wer weiss auch, ob der nimmer ruhende Fragedrang des menschlichen Geistes aus den Umwandlungen der Energie nicht wieder einen Anlass zur Neubildung des Kraftbegriffs schöpfen würde!

3. Die Hypothese als Ergänzung der sinnlichen Wahrnehmung.

1. Die Annahme von Kräften zwischen den sichtbaren Körpern ist aber nicht die einzige Hypothese, mit der man das geheimnisvolle Weben und Wirken der Natur zu ergründen versucht hat. Hypothesen treten überall da auf, wo die sinnliche Wahrnehmung, die einzige ungetrübte Quelle der Naturerkenntnis, versagt.

Jenseits der unteren Grenze des Gesichtssinnes liegt die ganze Molekulartheorie mit ihren an Moleküle und Atome geketteten physikalischen und chemischen Kräften; auch in die unendliche Weite des Weltenraums vermag unser Blick nicht genügend einzudringen, daher die Hypothesen über den Bau des Weltalls; ja sogar die grössere Nähe der Planeten giebt trotzdem nur hypothetischen Vermutungen über ihre Beschaffenheit Raum. Die Betrachtung solcher Naturerscheinungen, die wir als Bewegungen zu deuten Anlass haben, aber nicht als solche empfinden oder für deren unmittelbare Wahrnehmung uns der Sinn überhaupt fehlt, hat zur Äthertheorie des Lichts und der Elektrizität geführt. Auch über alle die Vorgänge, die sich vor

der Zeit jeglicher Naturbeobachtung, ja wohl gar vor dem Erscheinen des Menschen auf der Erde abgespielt haben, vermögen nur Hypothesen, wie die Kant-Laplacesche Kosmogonie, dürftiges Licht zu verbreiten. Ja selbst die Erklärung von Vorgängen, die sich unter unseren Augen noch vollziehen, aber wegen ihres langsamen Verlaufes unübersehbar sind, kann der Hypothese nicht entraten, wie z. B. die Darwinsche Theorie über die Entstehung der Arten beweist.

2. Alle Hypothesen sagen etwas aus über Zustände und Geschehnisse, die unserer sinnlichen Beobachtung entzogen sind. Die Hypothese kann daher niemals durch Induktion*) gefunden, wohl aber durch sie vorbereitet werden; sie ist selbst stets ein Produkt der Spekulation, d. h. der über die sichtbare Wirklichkeit hinausgehenden, aber von der Wirklichkeit wiederum gezügelten Phantasie.

Von dem empirischen Gesetz führt zur Hypothese keine Brücke, die zu überschreiten Sache eines jeden Wissenskundigen wäre; die Hypothese selbst ist ein Lichtblitz des Genies. Wenn es wahr ist, dass Newton durch den Fall eines Apfels zum Vergleich mit dem beständigen Fallen des Mondes gegen die Erde und damit zur Annahme einer allgemeinen Anziehung angeregt wurde, so ist ja nicht die beobachtete Erscheinung als solche die eigentliche Ursache für die Bildung jener Hypothese, sondern der geniale Geist Newtons, der in dem unscheinbaren Vorgang die innere Verwandtschaft erkannte. Gerade die Ähnlichkeit zwischen sonst verschiedenartigen Erscheinungen hat häufiger zur Bildung von Hypothesen Anlass gegeben, so die vielfachen

*) Ausgenommen sind natürlich die hypothetischen Schlüsse aus dem Zeichen oder der Analogie, insofern sie sich auf eine Ursache beziehen, die man in anderen gleichartigen oder ähnlichen Fällen tatsächlich erkennen kann. Hypothetisch ist ja hierbei nicht die Ursache als solche oder ihre Wirkungsweise, sondern nur das Vorhandensein der Ursache in dem gegebenen Falle. Wenn in dem Folgenden von Hypothesen die Rede ist, so sollen im allgemeinen die Annahmen, die einem Schluss aus dem Zeichen entspringen, ausgeschlossen sein, wenn sie sich auf anderswo erkennbare Ursachen (*causae verae*) beziehen.

Beziehungen zwischen Schall und Licht zur Übertragung der Wellentheorie des Schalls auf die Lichterscheinungen, die Ähnlichkeit zwischen einem elektrischen Solenoid und einem Magnet zur Ampèreschen Theorie des Magnetismus.

4. Notwendigkeit und Bedeutung der Verifikation.

1. Nicht immer hat man der letzten Forderung genügend Rechnung getragen. Zumal im Altertum liess man dem Spiel der Phantasie zu freien Lauf und versäumte, die Hypothese an der Wirklichkeit zu prüfen.

Diese Forderung, so selbstverständlich sie auch ist, liegt dem kindlichen Alter der Wissenschaft noch ziemlich fern; nur so erklären sich die vagen Kosmogonien der ältesten griechischen Naturphilosophen, die mehr als dichterische Erzeugnisse, denn als naturwissenschaftliche Hypothesen zu werten sind. Aber auch Aristoteles verkennt noch ganz den Wert des Experiments für die Bewahrheitung der Hypothesen; daher der gänzliche Untergang seiner und seiner Nachfolger Dynamik, während die auf mathematischen Anschauungen ruhende Statik des Archimedes noch heute nichts von ihrem Werte verloren hat. — Auch das Kindesalter der Chemie weist eine ähnliche Erscheinung auf. Die Phlogistontheorie Stahls, nach der die Verbrennung (wie auch die Verkalkung der Metalle) in der Entweichung eines Feuerstoffes, des Phlogiston, besteht, hat fast ein Jahrhundert geherrscht, ohne dass man es für nötig hielt, den Nachweis der wirklichen Existenz des Phlogiston zu liefern.

2. Eine Verifikation ist aber unbedingt notwendig; denn nur dann ist eine Hypothese berechtigt, wenn die aus ihr gezogenen Folgerungen mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Indessen zeigt eine solche Prüfung nur, dass die Hypothese möglich, nicht, dass sie richtig ist. Denn wenn die Folgerungen richtig sind, so ist damit noch nicht der Ausgangspunkt als richtig erwiesen, da die beobachteten Thatsachen auch möglicherweise als Folgerungen aus ganz anderen Voraussetzungen abgeleitet werden können.

So ist hauptsächlich der Foucaultsche Versuch entscheidend gewesen zwischen der Emissions- und Undulationstheorie des Lichtes, insofern er zeigte, dass in der That die Lichtgeschwindigkeit im Wasser geringer ist als in der Luft, wie es die Undulationstheorie verlangte, während die Emissionstheorie zu der entgegengesetzten Folgerung führte. Im übrigen konnten eine ganze Reihe von Erscheinungen gleich gut mit beiden Theorieen erklärt werden. — Auch dadurch darf man sich nicht täuschen lassen, dass es z. B. gelungen ist, Abstand, Durchmesser und Geschwindigkeit von Molekülen zu berechnen; denn diese Berechnungen fassen ja auf der Grundanschauung, dass es überhaupt Moleküle von der angenommenen Beschaffenheit giebt. Daher ist es allerdings wohl eine wissenschaftliche Leistung ersten Ranges, aber an und für sich nicht etwa wunderbar und kein Beweis für die Existenz der Moleküle, wenn man von bestimmten Voraussetzungen über die Anordnung und Eigenschaften der Moleküle ausgehend schliesslich zu jenen Ergebnissen gelangt ist. Denn wenn es getrennte und in Bewegung befindliche Moleküle überhaupt giebt, so müssen sie natürlich irgend eine Grösse und Geschwindigkeit besitzen. — Dass unter Umständen ganze Gruppen von Erscheinungen von zwei verschiedenen Ausgangspunkten aus befriedigend erklärt werden können, beweisen die Polarisationserscheinungen, deren Erklärung Fresnel die Annahme zu Grunde legte, Schwingungs- und Polarisationssebene seien senkrecht zu einander, während Neumann beide Ebenen zusammenfallen lässt.

5. Umformung und Wechsel der Hypothesen in der Geschichte der Wissenschaft.

So behalten also die Hypothesen trotz der Verifikation den Charakter von Phantasiegebilden, denen die objektive Wahrheit nicht zugesprochen werden kann. Und in der That zeigt die Geschichte der Wissenschaft, dass die Hypothesen niemals als fertige Gebilde gelten können, sondern einer steten Anpassung an neu entdeckte oder genauer beobachtete Erscheinungen unterliegen, bis sie schliesslich ganz

und gar durch andere, bessere ersetzt werden. Nicht deshalb sind die meisten Hypothesen untergegangen, weil sie Erscheinungen überhaupt nicht erklären konnten, sondern weil sie um deren Erklärung willen mit so viel Ballast beladen wurden, dass sie endlich an ihrer eigenen Kompliziertheit scheiterten.

Einen geradezu typischen Entwicklungsgang hat die Lehre von den Planetenbewegungen durchgemacht. Die offenbar ursprüngliche Ansicht, dass Sonne, Mond, Planeten und Fixsterne sich in Kreisen um die Erde drehten, musste bald fallen, als genauere Beobachtungen zeigten, dass allerdings den Fixsternen eine solche (scheinbare) Bewegung zukommt, Sonne und Mond aber nicht mit ihnen wandern, sondern eigene Wege einschlagen. Und erst die verwickelten Bewegungen der Planeten im Gefilde der Sterne, wo sie bald vorwärts schreiten, bald stille stehen und auch unter Umständen rückläufige Schleifen beschreiben, liessen schliesslich das bewusst als solches (z. B. von Plato) erkannte Problem reifen, die verworrenen Bewegungen aller Gestirne auf gleichförmige Bewegungen in Kreisen zurückzuführen. Denn nur die kreisförmige Bewegung war nach Ansicht der Griechen, besonders des Aristoteles, die einzig natürliche der Gestirne und die gleichförmige die des grossen Weltalls allein würdige. So bestimmten vorgefasste Ideen Richtung und Plan der Hypothese. Seine Lösung fand das Problem zuerst durch Eudox von Cnidus, der annahm, dass um die im Mittelpunkt der Welt befindliche Erde Sonne, Planeten und Fixsterne kreisten, an durchsichtigen Kugelschalen befestigt. Für die Fixsterne genügte eine einzige Kugelschale, jedem Planeten aber gab er deren 4, mit ihren Polen drehbar in einander eingelassen, die die verschiedenen Abweichungen der Planeten von der gleichförmigen und kreisförmigen Bewegung hervorrufen sollten. So unterschied er eine Kugel für die tägliche Bewegung der Planeten mit den Fixsternen, eine zweite für die Veränderung der Länge, eine dritte für die der Breite und eine vierte endlich für die rückläufige Bewegung. Aber auch dieser verwickelte Apparat ge-

nügte nicht, um die mannigfachen Ungleichheiten in den Bewegungen zu erklären; daher denn Calippus, der auf neu entdeckte Unregelmässigkeiten Rücksicht nehmen wollte, noch mehr Sphären hinzufügen musste, bis sich ihre Anzahl schliesslich auf 55 belief.

So war der Boden vorbereitet, als Hipparch, ohne Zweifel der grösste Astronom des Altertums, zeigte, dass eine Darstellung der himmlischen Bewegungen durch Kreise nicht bloss möglich sei, sondern auch der Wirklichkeit entspreche, indem er zugleich die Grössenverhältnisse dieser Kreise durch Rechnung bestimmte. Hipparch liess die Sonne sich in einem excentrischen Kreise um die Erde bewegen; er bestimmte die Excentricität der Bahn, die Erdnähe und den Zeitpunkt des Eintritts der Sonne in diesen Punkt. Diese Berechnungen und ähnliche, aber weit schwierigere für die Mondbahn führten zu Sonnen- und Mondtafeln, aus denen man den Ort dieser Gestirne für jede vergangene und folgende Zeit mit einer für die damalige Zeit staunenswerten Sicherheit berechnen konnte. Etwas umgestaltet und bezüglich der Planeten ergänzt wurde seine Lehre von Ptolemäus, nach dem alsdann das ganze System seinen Namen erhielt. Ptolemäus überzeugte sich, dass die Methode der excentrischen Kreise nicht genüge, um die Ungleichheiten der Mondbahn zu erklären, wie viel weniger erst die verwickelten Planetenbewegungen; er wandte sich daher der mehr versprechenden Methode der Epicykeln zu. Wenn ein Punkt sich auf der Peripherie eines Kreises gleichförmig fortbewegt, während der Mittelpunkt dieses Kreises auf einer anderen Kreislinie ebenfalls gleichmässig fortschreitet, so nennt man den ersten Kreis einen Epicykel. Durch Ineinanderschaltung mehrerer Epicykeln lässt sich nun in der That jede Bewegung von beliebiger Form und beliebigen Geschwindigkeitsänderungen darstellen. Und so gelang es Ptolemäus, die sämtlichen damals bekannten Ungleichheiten in den Bewegungen des Mondes und der Planeten dadurch zu erklären, dass er diese Gestirne in Epicykeln um die Erde kreisen liess. Dabei scheute er keineswegs Epicykel auf Epicykel zu häufen, und

auch den excentrischen Kreis verschmähte er nicht anzuwenden, so dass die ganze Theorie zwar ein bewunderungswürdiges Denkmal menschlichen Scharfsinns darstellt — was ihre andert-halbtausendjährige, unbestrittene Geltung erklärt —, aber schliesslich dem inneren Widerspruch zwischen ihrem künstlichen Aufbau und der immer wieder hervordrängenden Überzeugung von der thatsächlichen Einfachheit der Naturvorgänge erliegen musste. Denn gerade die Verwickeltheit des geocentrischen und die klare Einfachheit des heliocentrischen Systems war es vor allem, die Kopernikus veranlasste, sich der einst von Aristarch zum Teil schon aufgestellten Lehre zuzuwenden, nach der die Sonne und die Fixsterne unbeweglich im Weltenraum verharren, während Erde und Planeten um die erstere kreisen. Aber selbst Kopernikus konnte sich von der alten Aristotelischen Grundanschauung, dass die Bewegungen in Kreisen erfolgen müssten, noch nicht frei machen, und die astronomischen Unrichtigkeiten seiner Theorie hinderten Tycho de Brahe, sich ihr anzuschliessen, und drängten ihn zur Aufstellung eines eigenen Systems, bis es Kepler nach vielen mühsamen Versuchen gelang, die Erklärung des ganzen Planetensystems auf eine sichere, einwandfreie Grundlage zu stellen.

Einen ganz ähnlichen Verlauf zeigt die Entwicklung unserer Ansichten über die Natur des Lichts. Gassendi erklärte zuerst die Wirkungen des Lichts durch Atome, die von dem leuchtenden Körper ausgestossen, mit ungeheurer Geschwindigkeit den Raum geradlinig durchheilen und somit die Ursache sind, dass die Stärke des Lichts proportional dem Quadrat der Entfernung von der Lichtquelle abnimmt. Newton griff diese Ansicht auf, um die an der Grenzfläche zweier verschieden dichten Mittel auftretende Brechung der Lichtstrahlen zu erklären. Nach ihm übt das dichtere Mittel senkrecht zur Grenzfläche eine stärkere Anziehung auf die Lichtteilchen aus, als das dünnere, wodurch eine Ablenkung von der ursprünglichen Richtung bedingt wird. (Diese Erklärung hat notwendigerweise zur Folge, dass die Geschwindigkeit in dem dichteren Mittel grösser ist, was (s. o.) durch den Foucaultschen Versuch als unrichtig nachgewiesen ist.) Zur Deutung der Farben-

zerstreuung bedurfte es eines weiteren Ausbaues der Theorie, der darin bestand, dass Newton grössere und kleinere Lichtteilchen annahm, die grössten für die roten, die kleinsten für die violetten Strahlen. Die anziehende Kraft des dichteren Mittels lenkt die kleinsten Teilchen am meisten aus ihrer Bahn ab, daher die violetten Strahlen am meisten gebrochen und weisses Licht in seine farbigen Bestandteile zerlegt werden muss. Weit schwieriger gestaltete sich die Erklärung der Farben dünner Blättchen und der Newtonschen Ringe. Hier nahm Newton seine Zuflucht zu der überaus gekünstelten Annahme, dass die Lichtteilchen die Eigenschaft hätten, periodisch ihren Zustand zu ändern, d. h. in diesem Zeitpunkt leichter reflektierbar, im nächsten leichter brechbar zu sein, und dass diese „Anwandlungen“ der Teilchen um so schneller aufeinanderfolgten, je mehr sich die Farben dem violetten Ende des Spektrums nähern. In der That lässt sich die Erscheinung der farbigen Ringe mit Hülfe dieser Annahme bis zu einem gewissen Grade erklären (worauf hier verzichtet werden muss). Allein für diese Anwandlungen selbst glaubte doch Newton nach einer Ursache suchen zu müssen und fand sie in einer Einwirkung der Licht- auf die Körperteilchen. Die Lichtteilchen sollten nämlich in den letzteren Schwingungen erregen, die, falls sie selbst schneller wären als die Strahlen, deren Geschwindigkeit abwechselnd schwächen oder vergrössern und dadurch die Anwandlungen erzeugen müssten. Auch für die neu entdeckten Beugungs- und Polarisationserscheinungen denkt er, allerdings nur vermutungsweise, an einen weiteren künstlichen Ausbau seiner Hypothese, die sicherlich längst an ihrer inneren Unwahrheit zu Grunde gegangen wäre, wenn nicht das Übergewicht des Newtonschen Geistes sie allen Anstürmungen der Wellentheorie zum Trotz weit über ein Jahrhundert hinaus aufrecht erhalten hätte. — Aber auch die Wellentheorie war von vornherein nicht das, was sie heute ist. Huygens war es, der zuerst klar aussprach, das Licht bestehe in Schwingungen eines überall im Raume verbreiteten, sehr feinen und beweglichen Stoffes, des Lichtäthers. Er wie auch Young, der diese Theorie weiter ausbildete, dachten jedoch, letzterer wahrschein-

lich angeregt durch seine akustischen Untersuchungen, an longitudinale Schwingungen. Die Polarisationserscheinungen, die zeigen, dass ein Lichtstrahl sich nach den verschiedenen Seiten verschieden verhält, nötigten zur Aufgabe dieser Schwingungsart und drängten Fresnel das Licht als transversale Schwingungen des Äthers aufzufassen. Indessen bedurfte es noch einer von Sellmeyer und v. Helmholtz angenommenen Wechselwirkung zwischen den Äther- und Körpermolekülen zur befriedigenden Erklärung der Absorptions- und Dispersionserscheinungen.

6. Wert der Hypothese.

1. Keine Hypothese hat bisher allen Anforderungen stand gehalten; daher können wir überzeugt sein, dass auch die heute geltenden Hypothesen in der Zukunft einmal durch bessere ersetzt werden. Wenn wir also allen Anlass haben, an der objektiven Wahrheit der Hypothesen zu zweifeln, so wirft sich naturgemäss die Frage auf: Weshalb stellen wir denn überhaupt Hypothesen auf? Welchen Wert haben die Hypothesen für unsere Erkenntnis?

Zuvörderst ist es klar, dass die eigentliche Triebfeder der Hypothesenbildung in der menschlichen Natur selbst gesucht werden muss, in dem unablässigen Streben, die Grenzen des Erkennens über die Schranken der sinnlichen Wahrnehmung zu erweitern. Dieser unbezwingliche Drang könnte indessen an und für sich wertlos sein und nur zu Enttäuschungen führen; indessen lässt sich seine Berechtigung dadurch erweisen, dass seine Befolgung in der That auf die Höhe wissenschaftlicher Anschauung und zu einer wirklichen Bereicherung des Wissens führt, wie im folgenden dargelegt werden soll.

2. Schon des öfteren ist erwähnt worden, dass der menschliche Geist nach einer einheitlichen Auffassung des Universums strebt, mag man nun die Quelle dieses Strebens in der Einheit unseres Bewusstseins finden oder nicht; die Thatsache ist jedenfalls nicht zu leugnen.

Eine Vielheit von Göttern ist uns gänzlich undenkbar; und selbst über den griechischen Göttern waltete unerbittlich das eine unwandelbare Fatum. — Das Streben, die Einheit in der Vielheit zu erkennen, hat besonders in der Physik zu den glänzendsten Ergebnissen geführt, insofern es nahezu gelungen ist, die sämtlichen Erscheinungen der anorganischen Natur auf Bewegungen der Körpermoleküle und des Äthers zurückzuführen. — Auch in der Chemie glaubt wohl kein Chemiker der Gegenwart mehr an die wirkliche Vielheit der Elemente. Zwar ist die 1815 aufgestellte Proutsche Hypothese, wonach die Atome aller Elemente aus Wasserstoffatomen zusammengesetzt sein sollten, vom Schauplatz der Wissenschaft verschwunden, als sich zeigte, dass die Atomgewichte nicht, wie man ursprünglich annahm, ganze Vielfache vom Atomgewicht des Wasserstoffs sind. Indessen haben die Versuche, die Vielheit der chemischen Elemente auf irgend einen Urstoff zurückzuführen, niemals geschlummert, und die Forschungen von Mendelejeff und Lothar Meyer, die zeigen, dass Natur und Verhalten der Elemente von ihrem Atomgewicht abhängig sind, berechtigen zu der Hoffnung, dass es dereinst noch gelingen wird, die Atome der 70 Elemente aus molekularen Anordnungen weniger oder eines einzigen Urelements zu deuten.

3. Diesem Streben nach einheitlicher Auffassung des Weltalls kann aber nur Genüge geleistet werden durch Hypothesen. Denn die Erscheinungen selbst sind trotz ihrer mannigfachen Wechselbeziehungen durch so grosse Lücken von einander getrennt, dass man zu ihrer Verbindung notgedrungen das Gebiet der sinnlichen Wahrnehmung überschreiten muss. Daher erscheint uns eine Hypothese von um so grösserem Wert, je mehr sie einer solchen Auffassung die Wege ebnet.

So war eine Verbindung zwischen Elektrizität und Magnetismus nur möglich durch die Ampèresche Theorie, nach der die Moleküle des Magnets von kleinen elektrischen Kreisströmen in parallelen Ebenen umkreist werden. Und noch in neuester Zeit stiess die einheitliche Auffassung von Licht und Elektrizität auf die grössten Schwierigkeiten. Ohne die Wellentheorie des

Lichts aber wäre es nicht möglich gewesen, eine Brücke zwischen diesen anscheinend so verschiedenen Naturerscheinungen aufzubauen. So aber vermochte Maxwell zu zeigen, dass seine umgestalteten und erweiterten elektrischen Formeln auch imstande waren, die optischen Erscheinungen mit zu umfassen, da sie ausser den elektrischen Erscheinungen auch noch transversale Schwingungen darstellen konnten, die sich mit beliebiger Wellenlänge, aber mit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts bewegten.

4. Immerhin aber könnte dieser auf die Erkenntnis der Einheit in der Vielheit gerichtete Trieb trügerisch sein und nur geeignet, uns auf falsche Fährten zu locken. Dem gegenüber bleibt also noch nachzuweisen übrig, dass die Hypothesen thatsächlich zum Fortschritt des Wissens beigetragen haben, wenn wir als Wissen nur das gelten lassen, was sich auf das Zeugnis unserer Sinne stützen kann.

Nun lässt sich aber zunächst zeigen, dass gewisse Hypothesen in der That Vorstufen wirklicher Erkenntnis waren und sein werden, d. h. dass sie durch Erfahrungsgesetze abgelöst worden sind oder in der Zukunft ersetzt werden können. Das ist der Fall bei denjenigen Hypothesen, die sich auf wirkliche Geschehnisse beziehen, deren Erforschung aber ihrer Verwickeltheit wegen oder mangels scharfer und genauer Beobachtungen Schwierigkeiten bereitet. Denn die Verwickelung vermag wohl einmal der Blick eines grossen Geistes zu durchschauen, und der allgemeine Fortschritt des Wissens hat schon oft die Beobachtung auf die richtige Bahn geleitet und die fehlenden Hilfsmittel erfunden.

Der Ersatz der Ptolemäischen und der Kopernikanischen Hypothese — denn auch die letztere muss noch als solche gewertet werden — durch die Keplerschen Gesetze war deshalb möglich, aber zugleich auch schwierig, weil es sich hier um thatsächliche Bewegungen handelte, die von der selbst bewegten Erde aus gesehen so verwickelt schienen, dass es der Beobachtung

von Jahrhunderten und des genialen Scharfblicks Keplers bedurfte, um die wirkliche Gestalt der Bahnen und ihre Grössenverhältnisse zu erkennen. — Die Phlogistontheorie wich der Ansicht Lavoisiers über die Verbrennung, als die Chemiker sich nicht mehr auf qualitative Untersuchungen beschränkten, sondern zur Wage griffen und zeigten, dass das Gesamtgewicht bei der Verbrennung zunimmt.

5. Die Hypothesen freilich, die sich auf Dinge jenseits des Gebiets unserer sinnlichen Wahrnehmung beziehen, die also auf die Frage nach dem Grunde der Erscheinungen antworten oder nach dem inneren Aufbau der Materie, sind zwar des Ersatzes durch bessere, d. h. den Thatsachen besser angepasste Hypothesen fähig, aber niemals wird es gelingen, sie in Erfahrungsgesetze umzuwandeln, da wir hier auf die letzten unserm Geist durch seine eigene Natur gezogenen Schranken stossen.

Dahin gehören alle Theorieen über wirkende Kräfte, Ätherbewegung und Molekularaufbau der Körper. Könnte man die Wellenbewegung des Äthers wirklich wahrnehmen, so würde sich sofort die Frage nach ihrer Ursache erheben. Auch mit der sinnlichen Wahrnehmung der Moleküle wäre noch nichts gewonnen, denn man stände dann bezüglich der Moleküle noch genau vor denselben Fragen, wie jetzt in Hinsicht der ganzen Massen.

6. Welcher Art aber auch die Hypothesen sein mögen, in allen Fällen haben sie auf die Forschung anregend und befruchtend eingewirkt und hierdurch zu deren thatsächlichem Fortschritt beigetragen. Ist das Experiment eine Frage an die Natur, so kommt es wesentlich auf die richtige Fragestellung an. Und diese Fragestellung wird durch die Hypothese bedeutend erleichtert, indem sie der Forschung Ziel und Richtung vorschreibt.

Schon bei der Betrachtung der Newtonschen Untersuchungen über die Farbenzerstreuung (S. 12/13) haben wir gesehen, welche

wichtige, leitende Rolle bereits die einfachen Vermutungen bei dem Fortschreiten des Experiments spielen. Solche Vermutungen begleiten aber jede induktive Untersuchung. — Leider sind wir bei den meisten Forschern zu wenig über die Wege unterrichtet, die sie auf dem Pfade zur Wahrheit durchwandert; ihre Entdeckungen treten uns meist als fertige Gebilde entgegen oder als Endergebnisse einer Reihe von Schlussfolgerungen, die sie in Wirklichkeit zuerst nicht durchlaufen haben. Eine rühmenswerte Ausnahme von dieser fast allgemeinen Regel macht Kepler, indem er klar und ohne Scheu alle Irrwege darlegt, die er beim Erforschen der Wahrheit eingeschlagen. Gleichwohl haben wir allen Grund anzunehmen, dass der Weg Keplers selbst nicht eine Ausnahme, sondern in seinen Grundzügen der eigentlich typische ist. Es kann hier nicht der Ort sein, alle die phantastischen und mystischen Einfälle Keplers in seinem *Mysterium Cosmographicum*, die er erst aufbaute und dann wieder zerstörte, des Näheren aufzuzählen; führten sie ihn doch zunächst nur zu dem falschen Satz: „Die Erdbahn ist ein Kreis. Wenn man um die Kugel, zu der dieser grösste Kreis gehört, ein Dodekaeder beschreibt, so giebt die diesem letzten Körper einbeschriebene Kugel die Marsbahn. Beschreibt man dann um diese Bahn ein Tetraeder, so stellt der demselben einbeschriebene Kreis die Jupiterbahn vor. Beschreibt man aber um die Jupiterbahn einen Kubus, so wird der demselben eingeschlossene Kreis die Saturnusbahn sein. — Ebenso: beschreibt man in jener ersten Kugel der Erdbahn ein Ikosaeder, so wird der diesem letzten Körper einbeschriebene Kreis die Bahn der Venus vorstellen, und beschreibt man endlich in der Venusbahn ein Oktaeder, so wird der diesem Körper einbeschriebene Kreis die Merkurbahn bezeichnen.“ Aber es bedurfte eines so lebhaften Geistes und einer so felsenfesten Überzeugung von dem Bestehen irgend eines geometrischen oder algebraischen Verhältnisses zwischen der Entfernung der Planeten und ihrer Umlaufszeit, um die Endergebnisse hervorzubringen, die nur der voll zu würdigen versteht, der weiss, mit welcher unermüdlichen Ausdauer ihr Entdecker trotz aller Fehlschläge sein Ziel verfolgte. Den mühevollen Berechnungen, die Gestalt der Planeten-

bahnen festzustellen, hat Kepler allein 6 verschiedene Hypothesen zu Grunde gelegt.

7. Noch mehr gilt dies aber für die Perioden, wo der Kampf zwischen zwei verschiedenen Hypothesen die Gegner zum Aufsuchen immer neuer Thatsachen drängt, die geeignet sein könnten, zwischen ihren Meinungen zu entscheiden.

Zu seinen Luftpumpenversuchen wurde Guericke durch den Streit über die Existenz eines leeren Raumes angeregt. — Zu keiner Zeit waren die Fortschritte in der Optik so gross als damals, wo die Emissions- und die Wellentheorie um den Sieg rangen. — Voltas Fundamentalversuche über die Entstehung des elektrischen Stromes entsprangen dem Widerspruch gegen die galvanische Hypothese von dem tierischen Ursprung dieser Elektrizitätsart. Auch in späterer Zeit hat der Streit zwischen der chemischen und der Kontakttheorie zu neuen Entdeckungen Anlass geboten. — Die Frage, ob es überhaupt eine von dem Zwischenmittel und von der Zeit unabhängige Fernwirkung giebt, ob insbesondere die elektrische Wirkung sich ähnlich, wie man von der Gravitation annimmt, augenblicklich durch den Raum verbreitet, hat die Hertzschen Versuche gezeitigt.

8. Und selbst Hypothesen, die später aufgegeben werden mussten, haben nach dieser Richtung hin nützlich gewirkt, insofern sie zwar den theoretischen Fortschritt eine Weile hemmten, aber doch zur Sammlung und Entdeckung von Thatsachen anregten, die schliesslich selbst zu ihrem Sturze beitrugen.

Dass die Phlogistontheorie in diesem Sinne nicht geschadet hat, beweist schon der Umstand, dass die bedeutendsten Chemiker der damaligen Zeit eifrige Anhänger dieser Lehre waren. Ja unter ihrem Einfluss haben Priestley und Scheele durch ihre umfangreichen Untersuchungen über die Rolle des Sauerstoffs bei den Prozessen des Brennens, Atmens und der Metallverkalkung das experimentelle Material zu ihrem Sturze geliefert, nicht Lavoisier, der aus den vorliegenden Beobachtungen allerdings erst die richtigen Schlüsse zu ziehen verstand.

9. Es wäre ja auch merkwürdig, wenn selbst die gestürzten Theorien nicht gute Dienste geleistet hätten, waren sie doch nicht reine Gebilde der Phantasie, sondern den bekannten Thatsachen mehr oder minder gut angepasst. Waren sie gleich fehlerhaft, so enthielten sie doch einen wahren Kern, der nun in der neuen Theorie in neuer Gestalt und Verwertung erschien.

Die Bedeutung der Phlogistontheorie liegt offenbar darin, dass sie als erste eine ganze Reihe von chemischen Erscheinungen unter einen einheitlichen Gesichtspunkt brachte und hierdurch die Grundlage für ein wissenschaftliches System schuf, zugleich auch durch den Hinweis auf das Experiment dem scholastischen Wortgefecht ein Ende machte. Der bleibende Kern kann vielleicht darin gesucht werden, dass bei der Verbrennung in der That etwas verschwindet, aber nicht der sagenhafte Feuerstoff, sondern die potentielle Energie des Brennmaterials. — Die Brauchbarkeit veralteter Hypothesen zeigt sich auch darin, dass manche noch heute anstandslos im Schulunterricht Verwendung finden. So wird die Theorie der elektrischen Fluida noch immer dem Anfangsunterricht in der Elektrizitätslehre zu Grunde gelegt; ist sie doch auch recht gut geeignet, eine ganze Reihe von Erscheinungen, wie die der Elektrizitätserzeugung durch Reibung, der Influenz, der Spannung auf der Oberfläche von Leitern, des elektrischen Stromes u. s. w. einer einheitlichen Auffassung und damit einer Erklärung zu unterwerfen.

Andere Vorzüge der Hypothesen können erst in dem folgenden Abschnitt erörtert werden.

IV. Deduktion.

1. Begriff der Deduktion und ihre Ausbildung in der Euklidischen Mathematik.

1. Zur Erforschung der Wahrheit und zur Verwertung der gewonnenen Ergebnisse bedarf die Wissenschaft neben der Induktion noch einer ergänzenden Methode, die im Gegensatz zu jener vom Allgemeinen zum Besonderen fortschreitet, der Deduktion.

Schon bei der Betrachtung der Hypothese erwies sich deren Prüfung als unerlässlich. Eine solche Verifikation kann aber, da die Hypothese ja selbst über den Kreis der sinnlichen Wahrnehmung hinausgeht, nicht unmittelbar erfolgen; nur die Folgerungen der Hypothese können an der Hand der That-sachen geprüft werden. Das erfordert aber eine Methode, ver-mittelst der man von der allgemeine Gültigkeit beanspruchenden Hypothese zu spezielleren Ergebnissen gelangt.

2. Die Deduktion ist daher ein Verfahren, aus allgemein geltenden Wahrheiten durch logische Schlüsse Sätze von engerem Umfang abzuleiten. Um diese Methode gründlich kennen zu lernen, wenden wir uns zunächst an die Wissen-schaft, in der sie die grössten Triumphe gefeiert und die man daher als das Muster einer deduktiven Wissenschaft anzusehen pflegt, an die Mathematik und im besonderen an die Geometrie.

Mit Euklid, dem berühmtesten Mathematiker der alexan-drinischen Schule, tritt die Mathematik in ein neues Ent-wicklungsstadium. Die „Elemente der Geometrie“, unstrittig das bedeutendste mathematische Werk des Altertums, enthalten

eine nach logischen Gesichtspunkten geordnete Zusammenstellung der damals bekannten Lehren der Planimetrie und Stereometrie in einer so mustergültigen Form, dass Übersetzungen der Elemente noch heute dem Unterricht in England zu Grunde gelegt werden.

3. Als Ausgangspunkt der Euklidischen Geometrie dienen Axiome, d. h. allgemeine Sätze, die als unmittelbar gewiss keines Beweises bedürfen, und Definitionen der elementarsten Raumgebilde.

Die Definitionen geben Aufschluss über unsere räumlichen Grundbegriffe, wie den des Punktes, der geraden Linie, des Winkels u. s. w. (*Punctum est, cujus pars nulla est. Recta linea est, quaecunque ex aequo punctis in ea sitis jacet. Planus autem angulus est duabus lineis in plano se tangentibus nec in eadem recta positis alterius lineae ad alteram inclinatio. Ubi vero lineae angulum continentes rectae sunt, rectilineus adpellatur angulus.*)

Die Axiome (*Communes animi conceptiones*) selbst zerfallen wiederum in zwei Klassen, je nachdem sie sich auf allgemeine Grössenverhältnisse oder auf unsere Raumvorstellung im besonderen beziehen. Die der ersten Klasse lassen sich (nach Helmholtz) auf die beiden Grundsätze zurückführen:

1. Wenn zwei Grössen einer dritten gleich sind, so sind sie unter sich gleich.

2a) Gleiche Grössen, zu gleichen Grössen addiert, geben Gleiches.

b) Gleiche Grössen, zu ungleichen Grössen addiert, geben Ungleiches.

Diese Axiome der ersten Klasse dienen nicht allein der Geometrie, sondern der ganzen Mathematik als Grundlage.

Zu der zweiten Klasse gehören u. a. folgende Axiome:

Zwei gerade Linien können sich nur in einem Punkte schneiden.

Wenn eine gerade Linie zwei andere so schneidet, dass die Summe der inneren Winkel, die an derselben Seite der Schneidenden liegen, kleiner als $2 R$ ist, so treffen jene beiden Linien,

hinreichend verlängert, an dieser Seite zusammen. (Postuletur), si in duas lineas rectas recta incidens angulos interiores et ad eandem partem duobus rectis minores effecerit, rectas illas in infinitum productas concurrere ad eandem partem, in qua sint anguli duobus rectis minores (Parallelenaxiom).

4. Das deduktive Verfahren der Geometrie besteht nun in nichts anderem als in der logischen Verbindung dieser allgemeinen Wahrheiten (und zwar der Definitionen mit den Axiomen) unter Benutzung von Konstruktionen zur Erforschung besonderer Gesetze an den verschiedensten Raumgebilden.

Die grössere Verwicklung der logischen Verknüpfung und die Beteiligung des konstruktiven Elements unterscheiden die geometrische Deduktion von dem einfachen Schluss und der Schlusskette. So liegt in den folgenden Sätzen nur ein einfacher Schluss, aber keine Deduktion vor:

1. In jedem Parallelogramm halbieren sich die Diagonalen gegenseitig.

2. Das Rechteck ist ein Parallelogramm.

3. Also halbieren sich im Rechteck die Diagonalen gegenseitig.

Der einfache Schluss besteht aus drei Sätzen, den beiden Vordersätzen (Prämissen) und dem Schlusssatz (Conclusio).

5. Im allgemeinen verknüpft die Deduktion zwei allgemeinere Sätze (oder auch zwei Sätze von verschiedenem Umfang) zu einem besonderen Urteil, fügt zu diesem wiederum einen zweiten bereits als wahr erkannten allgemeinen Satz hinzu, um ein neues Urteil zu gewinnen und schreitet auf diesem Wege zu immer neuen Ergebnissen fort.

Eine derartige Deduktion liegt in dem folgenden in Schlussreihen dargestellten Beispiel vor:

1. Das gleichschenklige Dreieck lässt sich durch die Halbierungslinie des Winkels an der Spitze in zwei Dreiecke zerlegen, die in zwei Seiten und dem eingeschlossenen Winkel übereinstimmen.

2. Dreiecke, die in zwei Seiten und dem eingeschlossenen Winkel übereinstimmen, sind kongruent.

3. Folglich sind die genannten Teildreiecke kongruent.

4. In kongruenten Figuren sind die gleichliegenden Stücke gleich.

5. Folglich sind die gleichliegenden Stücke der Teildreiecke gleich.

6. Die Basiswinkel des gleichschenkligen Dreiecks sind gleichliegende Stücke in den Teildreiecken.

7. Folglich sind die Basiswinkel im gleichschenkligen Dreieck einander gleich.

In diesem Beispiel tritt die Eigentümlichkeit des deduktiven Verfahrens deutlich hervor. Die Bedeutung der Konstruktion als eines die Deduktion vorbereitenden oder begleitenden Hilfsvorgangs zeigt sich bei Satz 1, wo die zu untersuchenden Dreiecke erst durch die Halbierungslinie entstehen. Dazu erfordert dieser Satz noch einen besonderen, teils auf den Begriff des gleichschenkligen Dreiecks, teils auf die Konstruktion und die unmittelbare Anschauung sich stützenden Nachweis; desgleichen ist der Satz 6 nicht ohne weiteres einleuchtend, sondern muss erst der Anschauung, dass beim Aufeinanderlegen der Teildreiecke die Basiswinkel sich decken, entnommen werden. Im übrigen tritt zu jedem Satzsatz (3 und 5) eine neue Prämisse (4 und 6) zur weiteren Schlussbildung hinzu.

6. Meist jedoch ist das logische Gerüst der Deduktion weit verwickelter und lässt sich nicht in eine einfache Kette von Schlüssen auflösen. Am einfachsten ist noch der Fall, wo parallel laufende Schlussreihen die Prämissen zu einem Urteil liefern, an das sich wiederum eine Schlusskette hängt.

Der Satz: Wechselwinkel an Parallelen sind einander gleich, soll bewiesen werden. Die Wechselwinkel seien α und β ; zu Hülfe genommen wird ein Winkel γ , der Gegenwinkel zu α und Scheitelwinkel zu β ist.

- | | |
|---|--|
| 1 a) Gegenwinkel an Parallelen sind einander gleich. | 1 b) Scheitelwinkel sind einander gleich. |
| 2 a) α und γ sind Gegenwinkel an Parallelen. | 2 b) β und γ sind Scheitelwinkel. |
| 3 a) Folglich ist $\sphericalangle \alpha = \sphericalangle \gamma$. | 3 b) Folglich ist $\sphericalangle \beta = \sphericalangle \gamma$. |
-

4. Die Winkel α und β sind demnach gleich γ .

5. Wenn zwei Grössen einer dritten gleich sind, so sind sie unter sich gleich.

6. Folglich ist $\sphericalangle \alpha = \sphericalangle \beta$.

7. Die Geometrie verdankt die Mannigfaltigkeit ihrer Sätze nicht allein den wenigen Axiomen und Definitionen, die an der Spitze der Euklidischen Geometrie stehen; erst die immer weiter schreitende, durch stete Erfindung neuer Formen genährte Begriffsentwicklung hat der Deduktion den Stoff geliefert und ihre Fruchtbarkeit gesichert.

Dies erhellt äusserlich schon aus dem Umstande, dass mit jedem der 15 Bücher der „Elemente“ neue Definitionen eingeführt werden. Trotzdem aber kann man mit Recht sagen, dass das ganze Gebäude der Geometrie auf jenen wenigen Wahrheiten ruht, da die neu auftretenden Formen sich schliesslich nur aus den bereits in den ersten Definitionen gegebenen Elementen der Raumvorstellung zusammensetzen.

Die oben geschilderte, besonders in der Euklidischen Geometrie hervortretende Deduktion kann synthetisch genannt werden, da sie durch beständiges Zusammenfügen der gewonnenen Ergebnisse mit andern auf ähnliche Weise gewonnenen oder mit bereits als wahr erkannten Sätzen zu ihren Endurteilen gelangt.

2. Die synthetische und analytische Deduktion in der Mechanik und Physik.

1. Die synthetische Deduktion spielt gleichfalls eine grosse Rolle in der Mechanik, die ja gewissermassen eine Mittelstellung zwischen der Mathematik und der eigentlichen

Physik einnimmt. So ist das Hauptwerk Newtons, die „*philosophiae naturalis principia mathematica*“, eine sich dem Euklidischen System gleichartig anschliessende synthetisch-deduktive Ableitung der gesamten mechanischen Gesetze aus einigen wenigen an die Spitze gestellten Definitionen und Axiomen.

Es sind dies nach der Übersetzung von Wolfers a) Definitionen: 1. Die Grösse der Materie wird durch ihre Dichtigkeit und ihr Volumen vereint gemessen.

2. Die Grösse der Bewegung wird durch die Geschwindigkeit und die Grösse der Materie vereint gemessen.

3. Die Materie besitzt das Vermögen zu widerstehen; deshalb verharret jeder Körper, soweit es an ihm ist, in einem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung.

4. Eine angebrachte Kraft ist das gegen einen Körper ausgeübte Bestreben, seinen Zustand zu ändern, entweder den der Ruhe oder den der gleichförmigen Bewegung.

5. Die Centripetalkraft bewirkt, dass ein Körper gegen irgend einen Punkt als Centrum gezogen oder gestossen wird, oder auf irgend eine Weise dahin zu gelangen strebt.

6. Die absolute Grösse der Centripetalkraft ist das grössere oder kleinere Mass derselben, nach Verhältnis der wirkenden Ursache, welche vom Mittelpunkte nach den umgebenden Teilen sich fortpflanzt.

7. Die beschleunigende Grösse der Centripetalkraft ist derjenigen Geschwindigkeit proportional, welche sie in einer gegebenen Zeit erzeugt.

8. Die bewegende Grösse der Centripetalkraft ist der Bewegung proportional, welche sie in einer gegebenen Zeit hervorbringt.

b) Grundsätze oder Gesetze der Bewegung (*Axiomata, sive leges motus*):

1. Jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.

2. Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.

3. Die Wirkung ist stets der Gegenwirkung gleich, oder die Wirkungen zweier Körper aufeinander sind stets gleich und von entgegengesetzter Richtung.

Zusätze: 1. Ein Körper beschreibt in derselben Zeit durch Verbindung zweier Kräfte die Diagonale eines Parallelogramms, in welcher er vermöge der einzelnen Kräfte die Seiten beschrieben haben würde.

2. Hieraus ergibt sich die Zusammensetzung der geradlinig wirkenden Kraft AD aus irgend welchen zwei schiefwirkenden AB und BD und umgekehrt die Zerlegung einer geradlinigen Kraft AD in die beliebigen schiefen AB und BD. Diese Zusammensetzung und Zerlegung wird in der Mechanik vollständig bestätigt.

3. Die Grösse der Bewegung, welche man erhält, indem man von der Summe der nach einer Richtung stattfindenden Bewegungen die Summe der nach entgegengesetzter Richtung stattfindenden subtrahiert, wird durch eine gegenseitige Wirkung der Körper aufeinander nicht geändert.

4. Der gemeinschaftliche Schwerpunkt zweier oder mehrerer Körper ändert seinen Zustand der Ruhe oder Bewegung durch die Wirkung der Körper unter sich nicht, und ersterer wird daher (unter Ausschliessung äusserer Wirkungen und Hindernisse) entweder ruhen oder sich gleichförmig in gerader Linie bewegen.

5. Körper, welche in einen gegebenen Raum eingeschlossen sind, haben dieselbe Bewegung unter sich, dieser Raum mag ruhen oder sich gleichförmig und geradlinig, nicht aber im Kreise fortbewegen.

6. Wenn Körper sich untereinander auf irgend eine Weise bewegen und gleiche beschleunigende Kräfte nach parallelen Richtungen auf sie einwirken, so fahren alle fort, sich auf dieselbe Weise unter einander zu bewegen, als wenn sie nicht durch jene Kräfte angetrieben würden.

2. Aus diesen wenigen Voraussetzungen leitet Newton alle damals bekannten und auch die von ihm selbst entdeckten Gesetze der Mechanik ab, und zwar in einer Weise, die noch heute in vielfacher Beziehung als mustergültig anerkannt werden muss, wenn auch die schwerfällige, allzu sehr auf geometrische Konstruktionen angewiesene synthetische Form der Darstellung unserem heutigen Geschmack nicht mehr recht zusagt und das Verständnis erschwert.

So wird nachgewiesen, dass, wenn ein Körper sich vermöge einer aus dem Brennpunkte wirkenden Kraft in einem Kegelschnitt bewegt, diese anziehende Kraft im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernung wirken müsse, und auch umgekehrt, dass eine solche Kraft notwendigerweise eine Bewegung des beeinflussten Körpers in einer Ellipse, Parabel oder Hyperbel hervorbringe. Auch zeigt Newton, dass das zweite und dritte Keplersche Gesetz sich aus dem allgemeinen Gravitationsgesetz ableiten lassen: Die Körper ziehen sich wechselseitig mit einer Kraft an, die den Massen gerade und dem Quadrat der Entfernungen umgekehrt proportional ist.

3. Eine andere Art der Darstellung findet sich in Lagranges „*Mécanique analytique*“. Lagrange sucht die gesamten Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung von einem Ausgangspunkt, dem Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten abzuleiten. Diese Bevorzugung eines einzigen Satzes, der also gewissermassen die sämtlichen Einzelgesetze in sich einschliesst, lässt schon erkennen, dass es keiner Zusammenfügung verschiedener Sätze zur Gewinnung neuer Urteile bedarf, sondern nur einer Beschränkung dieses allgemeinen Satzes auf bestimmte Fälle, um zu besonderen Gesetzen zu gelangen. Diese Art der Deduktion wird analytisch genannt. Ein äusserliches Kennzeichen der analytischen Deduktion ist die Verwendung algebraischer Zeichen und der Substitution.

Das genannte Prinzip lautet in der Originalfassung: Si un système quelconque de tant de corps ou points que l'on veut,

tirés chacun par des puissances quelconques, est en équilibre, et qu'on donne à ce système un petit mouvement quelconque, en vertu duquel chaque point parcourt un espace infiniment petit qui exprimera sa vitesse virtuelle, la somme des puissances multipliées chacune par l'espace que le point où elle est appliquée parcourt suivant la direction de cette même puissance, sera toujours égale à zéro, en regardant comme positifs les petits espaces parcourus dans les sens des puissances, et comme négatifs les espaces parcourus dans un sens opposé. —

Aus diesem Prinzip lässt sich z. B. das Hebelgesetz folgendermaßen ableiten: Das Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten, das durch die Formel $\sum Pp - \sum Qq = 0$ ausgedrückt werden kann, gilt ganz allgemein für beliebig viele und nach beliebigen Richtungen wirkende Kräfte. Zunächst wird nun die Bewegung des Körpers auf eine drehende beschränkt; dann weiter angenommen, dass die Kräfte in einer Ebene wirken, die senkrecht zur Drehungsachse steht. Fällt man alsdann vom Drehpunkt die Lote auf die Krafrichtungen und verlegt die Angriffspunkte der Kräfte nach den Fusspunkten dieser Lote, so ergibt sich, dass in die obige Gleichung statt der virtuellen Wege p und q die ihnen proportionalen Kraftarme (d. h. jene Lote) eingesetzt werden dürfen. Daraus ergibt sich das allgemeine Hebelgesetz, wonach ein Hebel im Gleichgewicht ist, wenn die algebraische Summe der statischen Momente aller Kräfte gleich Null ist, ein Gesetz, das nun wiederum durch Beschränkung auf zwei Kräfte oder parallele Kräfte u. s. w. den besonderen Fällen des Winkelhebels, des geradlinigen Hebels u. s. w. angepasst werden kann. Alle diese Gesetze sind offenbar in dem ursprünglichen Prinzip bereits enthalten und werden aus ihm durch immer weiter gehende Einschränkungen gewonnen. —

Auch die analytische Geometrie macht, wie der Name schon vermuten lässt, vielfachen Gebrauch von der analytischen Deduktion. So stellt die allgemeine Gleichung zweiten Grades: $Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0$ die sämtlichen ebenen Gebilde dieses Grades dar und führt, wenn $AC > B^2$, auf eine Ellipse (Kreis), einen einzelnen Punkt oder

kein geometrisches Gebilde, wenn $AC < B^2$, auf zwei sich schneidende Linien oder eine Hyperbel, und wenn $AC = B^2$, auf zwei parallele Linien oder eine Parabel. Auch die Einzelgleichungen für Ellipse, Parabel und Hyperbel enthalten wiederum in sich verborgen die sämtlichen Eigenschaften dieser Kurven, die sich durch geeignete analytische Deduktion aus ihnen folgern lassen.

4. Zu diesen Definitionen und Axiomen treten in der eigentlichen Physik (und in der Chemie) noch die Hypothesen als Ausgangspunkte der Deduktionen hinzu. Wie in der Geometrie die Konstruktion, so bildet hier das Experiment das fördernde Hilfsmittel der Deduktion.

Aus der Hypothese der kinetischen Gastheorie, dass die Gasmoleküle sich beständig geradlinig fortschreitend bewegen, lässt sich das Mariottesche Gesetz deduzieren und aus der Verbindung jener Annahme mit der Hypothese, dass die Körperwärme in der Energie der Körpermoleküle besteht, das Gay-Lussacsche Gesetz und viele andere. Aber nur das Experiment vermag über den in dem letzteren Gesetze vorkommenden absoluten Nullpunkt Auskunft zu geben, indem es als Ausdehnungskoeffizienten der Gase $\frac{1}{273}$ feststellt. — Die Wellentheorie ergibt gleichfalls die Gesetze der Brechung und Farbenzerstreuung; die in diese Gesetze eintretenden Konstanten aber, wie die Brechungsexponenten und die Schwingungszahlen der verschiedenen Farben, vermögen nur auf experimentellem Wege ermittelt zu werden.

3. Die Natur der obersten Prämissen in der Mathematik und der Naturwissenschaft.

1. Die Richtigkeit der durch Deduktionen gewonnenen Ergebnisse ist offenbar abhängig von der logischen Richtigkeit der Schlussfolgerungen und von der Sicherheit (objektiven Wahrheit) der als Ausgangspunkt dienenden, bzw. im Laufe der Deduktion herangezogenen Prämissen. Gegen falsche Schlussfolgerungen schützt uns im allgemeinen unser

gesunder Menschenverstand oder in schwierigeren Fällen das gemeinsame Urteil aller Urteilsfähigen.

Diese Bemerkung scheint in Widerspruch zu stehen mit der Beobachtung, die wohl schon jeder gemacht hat, dass man im wirklichen Leben so oft auf falsche Urteile stösst. Indessen liegt der Fehler selten in den deduktiven Schlussfolgerungen an sich, sondern entweder ist die voreilige Induktion, d. h. der Schluss von einem einzigen Fall auf alle ähnlichen Fälle die Quelle des Irrtums, oder es sind, wie wohl meistens, die Prämissen falsch, die zu jenen Urteilen geführt haben.

2. Unser Hauptaugenmerk ist also auf die Prämissen zu richten. Hinsichtlich ihrer Gewissheit besteht nun aber ein wesentlicher und durchgreifender Unterschied zwischen der Mathematik und der Naturwissenschaft, der deren verschieden schnelle und verschieden sichere Entwicklung begreiflich macht.

In der Mathematik sind die Prämissen unmittelbar anschaulich und gewiss; daher denn auch die stetige, niemals schwankende Entwicklung dieser Wissenschaft.

Die einzige Ausnahme bildet das Parallelenaxiom, das man nicht als unmittelbar anschaulich bezeichnen kann, da wir hierbei unsere Raumvorstellung bis zur Unendlichkeit ausdehnen müssen. Indessen lässt sich gegen die Richtigkeit dieses Axioms, das übrigens mit dem Satz von der Winkelsumme des Dreiecks steht und fällt, für die Raumanschauung, die wir nun einmal haben, nichts einwenden. Ob etwa der wirkliche Raum ausser uns im unendlich Grossen sich unserer Raumanschauung nicht fügt und zwei uns parallel erscheinende Linien sich dort schneiden, sich also etwa verhalten wie zwei benachbarte grösste Kreise einer unendlich grossen Kugeloberfläche, ob möglicherweise neben unserer Raumvorstellung noch eine andere denkbar ist, das thut nichts zur Sache — vorstellbar ist uns jedenfalls der Raum nur in der Weise Euklids. Wertvoll sind aber die vielen Untersuchungen, die hinsichtlich der Axiome und Definitionen angestellt worden sind, insofern sie sich au

ihren inneren Zusammenhang, im besondern auf die Frage beziehen, ob etwa das Parallelenaxiom aus den übrigen abgeleitet, also bewiesen werden könne — eine Frage, die übrigens von Gauss verneint worden ist —, und auf den Ursprung dieser Grundelemente der Mathematik. Für den vorliegenden Zweck indessen ist es gleichgültig, ob man die einfachsten mathematischen Begriffe, da ihnen in der Wirklichkeit nichts genau Gleiches entspricht, als angeborene Ideen unseres Geistes auffasst oder sie aus der Erfahrung hervorgehen lässt. Neuere Untersuchungen (Erdmann) haben gezeigt, dass auch die Axiome selbst im Grunde empirischen Ursprungs und erst durch Verallgemeinerung der an einzelnen Fällen gemachten Wahrnehmungen entstanden zu sein scheinen.

3. In der Mechanik hingegen ist die Entwicklung so lange gleichförmig und sicher verlaufen, als sie noch gewissermassen einen Teil der Mathematik bildete, als sie sich darauf beschränkte, geometrische Raumgebilde unter alleiniger Voraussetzung eines bestimmten Gewichtes zu betrachten.

Die Statik des Archimedes hat noch heute nicht an Wert verloren; diese Sicherheit verdankt sie einzig und allein der weisen Beschränkung auf die Beobachtung des mechanischen Geschehens unter den einfachsten Bedingungen, d. h. auf statische Probleme. Daher spielen hierin die schwierigen Begriffe der Zeit, Geschwindigkeit, Bewegung überhaupt noch keine Rolle; und da die wirkenden Kräfte dazu noch auf die Schwerkraft beschränkt sind, die sich in dem leicht zu messenden Gewicht der Körper äussert, so genügen in der That rein mathematische Erwägungen.

4. Dagegen ist die ganze Dynamik des Aristoteles der Vergessenheit anheimgefallen, und erst mit dem Beharrungsgesetz Galileis beginnt die Epoche der heutigen Dynamik. Überhaupt unterscheiden sich die Prinzipien der Mechanik von den Grundbegriffen der Mathematik dadurch, dass sie keineswegs ohne weiteres unmittelbar anschaulich und darum

gewiss sind, sondern teilweise erst durch mühsame Induktionen ans Licht gezogen werden mussten. Auch die Möglichkeit, die ganze Mechanik von verschiedenen Ausgangspunkten aus zu entwickeln, zeigt deutlich, dass es noch nicht gelungen ist, mit hinreichender Genauigkeit die letzten nicht mehr auf andere zurückführbaren Urelemente der Mechanik festzustellen, wenn auch dieser Umstand allerdings nicht gegen die Richtigkeit der erwähnten verschiedenen Prämissen ins Feld geführt werden kann.

Die oben angegebenen, an der Spitze von Newtons „Prinzipien“ stehenden Definitionen und Axiome sind durchaus nicht von selbst einleuchtend, wie sich auch daraus ergibt, dass es der Arbeit von Jahrhunderten bedurfte, um zu ihnen zu gelangen. Auch das von Lagrange als Ausgangspunkt benutzte Prinzip der virtuellen Geschwindigkeiten kann bezüglich seiner Anschaulichkeit den Vergleich mit den mathematischen Grundsätzen nicht aushalten; und wenn auch Lagrange selbst in der ersten Auflage seines Werkes das Prinzip als ein keines Beweises bedürftiges Axiom einführt, so heisst es doch in der zweiten Auflage: „Quant à la nature du principe des vitesses virtuelles, il faut convenir qu'il n'est pas assez évident par lui-même pour pouvoir être érigé en principe primitif.“ Dementsprechend sucht Lagrange das Prinzip mit Hülfe einer sinnreichen Kombination von gedachten Flaschenzügen zu beweisen, ein Beweis, der freilich nur einer Veranschaulichung gleichkommt, zumal die für jene Kombination notwendigen Bedingungen in der Wirklichkeit niemals völlig erfüllt werden könnten. — Es ist daher leicht erklärlich, dass gerade in der Mechanik darüber Unklarheit herrscht, welche Sätze als Axiome, die als solche an und für sich klar sind und keines Beweises bedürfen, welche aber als beweisbedürftige Lehrsätze aufzufassen sind; und je nach dem Ausgangspunkt spielt ein und derselbe Satz bald die Rolle eines Axioms, bald die eines Lehrsatzes. Auch der Umstand, dass selbst für so einfache Sätze, wie den Satz vom Parallelogramm der Kräfte, Beweise erdacht worden sind, die von ihren Entdeckern als streng mathematisch

ausgegeben wurden, während andere Mathematiker nicht dieser Meinung waren, weist auf dieselbe Unsicherheit in der Stellung der mechanischen Grundbegriffe hin.

5. Sind nun schon die Prinzipien der Mechanik nicht ohne weiteres einleuchtend, so gilt dies um so mehr von der sonstigen Physik, die ja im Grunde nur eine angewandte Mechanik sein kann. Treten doch hier zu jenen Grundlagen noch die Hypothesen hinzu, die ihrer eigenen Natur nach nicht als objektiv wahr erkannt werden können.

Kein Wunder also, dass der Kampf der Hypothesen noch nicht ausgetobt hat und wohl niemals endigen wird, wenigstens soweit er sich auf das innere Wesen der Dinge bezieht. Beispiele bieten dafür die steten Umformungen unserer Ansicht über das Wesen des Lichts, wie sie oben näher dargelegt worden sind.

4. Wert der Deduktion.

1. Sind aber die Ausgangspunkte der Deduktion in der Naturwissenschaft nicht dem Streit der Meinungen gänzlich entrückt, so ist es um so notwendiger die Ergebnisse der Deduktion mit den Thatsachen der Erfahrung zu vergleichen, sie zu verifizieren. Nur die genaue Übereinstimmung der theoretischen Darlegungen mit der Erfahrung lässt die Prämissen als zulässig erscheinen. Ein Widerspruch zwischen beiden muss, falls die Schlussfolgerungen selbst logisch unanfechtbar sind, zur Verwerfung jener Prämissen führen. Stimmen aber auch die Folgerungen mit den Thatsachen überein, so müssen wir uns doch hüten, deswegen allein die Prämissen für unbedingt gewiss zu halten; denn man kann wohl vom Grund auf die Folge, nicht aber von der Richtigkeit der Folgerung auf die des Grundes schliessen.

Dieser Umstand hat uns oben bereits dazu geführt, den Hypothesen die Erkennbarkeit ihrer objektiven Wahrheit abzusprechen. — Auch beim indirekten Beweis der Mathematik schliesst man nur von dem Widerspruch zwischen den aus

einer Annahme gezogenen Folgerungen und den Thatsachen auf die Unrichtigkeit jener Annahme; wäre aber statt dessen Übereinstimmung vorhanden, so könnte man schon deshalb nicht auf die Richtigkeit der Prämisse schliessen, weil eine vielleicht noch übersehene Folgerung den Widerspruch aufdecken könnte.

2. Die Verifikation ist aber um so überzeugender, je mehr Folgerungen an den Thatsachen geprüft werden können; demnach der Ausgangspunkt um so wertvoller, je mehr Folgerungen er zu ziehen erlaubt, je mehr Gebiete er umfasst.

Auch von dieser Seite her sehen wir also die schon dargelegte Ansicht bestätigt, dass eine Hypothese um so höher zu schätzen ist, je mehr Erscheinungen sie unter einen einheitlichen Gesichtspunkt zusammenfasst. Lag oben ein mehr theoretischer Grund, nämlich das unleugbare Verlangen des Geistes nach einer einheitlichen Auffassung der Naturerscheinungen vor, so ist hier die praktische Forderung maßgebend, dass eine Hypothese durch möglichst viele und vielseitige Deduktionen gestützt werden müsse.

3. Erst die Deduktion macht die Naturgesetze praktisch verwertbar, macht die Wissenschaft zur Beherrscherin der Natur, insofern sie gestattet, bei bestimmten gegebenen Bedingungen auf die Folge zu schliessen, das Zukünftige oder das Gewollte also vorauszusehen. In dieser Hinsicht leistet die Mathematik der Naturwissenschaft hervorragende Dienste.

Man denke an die praktische Verwertung der Gesetze über die Bewegung der Gestirne zur Vorausberechnung von Sonnen- und Mondfinsternissen, zur Aufstellung von Sonnen- und Mondtafeln. — In der Technik liegen z. B. dem Bau von Brücken genaue Berechnungen der Gestalt und Tragfähigkeit der einzelnen Teile zu Grunde. — Das Ziel der Meteorologie wäre erreicht, wenn sie eine streng deduktive Darstellung zuliesse, so dass man aus den gegebenen Bedingungen mit Sicherheit

auf die kommende Witterung schliessen könnte, gerade wie Newton zeigte, dass man aus drei Punkten der Bahn eines Kometen die ganze Bahn bestimmen kann.

4. Ein wesentlicher Vorzug der Deduktion gegenüber der Induktion besteht darin, dass sie die einfachsten Bedingungen für die zu untersuchende Erscheinung annehmen, also abstrahieren kann von den in der Natur vorkommenden verwickelten Verhältnissen, die das Experiment ja auch nur zum Teil zu vereinfachen vermag (S. 11 ff.). Die durch solche Deduktion gewonnenen Gesetze sind allerdings nur ideale Grenzfälle, von denen die Wirklichkeit mehr oder weniger abweicht. Sache des experimentellen Verfahrens ist nun wieder, diese Abweichungen festzustellen, um für praktische Bedürfnisse brauchbare Regeln zu erhalten.

Die Stossgesetze werden für absolut elastische und absolut unelastische Körper entwickelt. — Die Formel für die Dauer der Pendelschwingung $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ sowie die Hohlspiegelformel $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ gelten nur für Grenzfälle, die in der Natur nicht verwirklicht sind. — Die Gesetze des schiefen Wurfes bedürfen für die Praxis einer Umformung; der Artillerist hat nicht mit der Wurfparabel, sondern mit der ballistischen Kurve zu rechnen. — Die Gesetze über die Schwingung der Luft in Orgelpfeifen, wonach z. B. bei einer offenen Pfeife der Knoten in deren Mitte liegen soll und die Schwingungszahl nach der Formel $n = \frac{c}{2l}$ zu berechnen ist, entsprechen gleichfalls nicht der Wirklichkeit, und ihre Befolgung würde dem Orgelbauer keinen Ruhm eintragen.

5. Der Induktion gegenüber bietet die Deduktion ferner den grossen Vorteil dar, dass sie alle Folgerungen aus dem an die Spitze gestellten Satze zu ziehen erlaubt, während sich bei der Induktion aus den beobachteten Fällen nur das allgemeine Gesetz ergibt, nicht aber eine Reihe von Erscheinungen, die gleichfalls in dem Gesetz enthalten sein können.

Für das Gravitationsgesetz lagen Newton als Ergebnis der Erfahrung nur die Keplerschen Gesetze über die Planetenbewegungen vor; doch vermochte er rückwärts nicht bloss diese Gesetze abzuleiten, sondern auch die Erscheinung der Ebbe und Flut, sowie unter Berücksichtigung der Gestalt und Rotation der Erde die Präzession der Tag- und Nachtgleichen zu erklären. Auch die gegenseitigen Störungen der Planeten sind später aus demselben Gravitationsgesetz deduziert worden.

6. Da die Deduktion alle Folgerungen aus den Prämissen zu ziehen gestattet, so liegt die Möglichkeit vor, dass auf deduktivem Wege auch Erscheinungen und Gesetze entdeckt werden können, von deren Vorhandensein man bis dahin keine Ahnung hatte.

Die Geschichte der Wissenschaft kennt eine ganze Anzahl von solchen Voraussagungen. Auf Grund des Wertigkeitsbegriffes und der Lehre von der Substitution leitete Kolbe, gestützt auf die Beziehungen zwischen den Alkoholen und den Karbonsäuren, durch wiederholte Ersetzung eines Atomes Wasserstoff durch das einwertige Radikal Methyl (CH_3) neue, noch unbekannte organische Verbindungen ab; er sagte die Existenz der sekundären und tertiären Alkohole voraus und deutete eine wahrscheinliche Bildungs- und Zersetzungsweise der ersteren an. Seine Voraussagen wurden glänzend gerechtfertigt durch die Entdeckung des sekundären Propylalkohols und des tertiären Butylalkohols. — Mendelejeff ordnete die Elemente nach ihrem Atomgewicht in Familien und Reihen und gewann die Überzeugung, dass die Eigenschaften eines Elements von seinem Atomgewicht abhängig seien. Gestützt auf dieses „periodische Gesetz“, wie er es nannte, wagte er es, dort, wo seine Reihen Lücken aufwiesen, auf die Existenz noch unbekannter Elemente zu schliessen und deren Eigenschaften, sowie ihr chemisches Verhalten und das einiger ihrer Verbindungen vorauszusagen. Die im Jahre 1871 unternommene Vorausberechnung der Eigenschaften dreier hypothetischen Elemente, denen er vorläufig nach ihrer Stellung im System die Namen Ekabor, Ekaaluminium und Ekasilicium beilegte, wurde auf das Überzeugendste

bestätigt durch die Entdeckung des Galliums, das mit dem hypothetischen Ekaaluminium im spezifischen Gewicht (5,9), der spez. Wärme (0,08) und dem Atomgewicht (69,8), sowie in den allgemeinen Reaktionen übereinstimmte; ja sogar der Teil der Voraussage wurde erfüllt, dass das neue Element seiner Flüchtigkeit wegen wohl durch die Spektralanalyse entdeckt werden würde. Später erfolgten die Entdeckungen des Skandiums (Ekabor) und Germaniums (Ekasilicium). —

In der Physik hatten solche Vorausberechnungen schon früher stattgefunden, da die Physik weit früher als die Chemie zu selbständigen Theorien vorgeschritten war, die erst die Möglichkeit einer Deduktion gewähren. Das bekannteste Beispiel ist die Entdeckung des Neptun durch Leverrier. Auf Grund der Gravitationstheorie schloss Leverrier aus den Störungen, die der Uranus in seiner Bahn zeigte, auf das Vorhandensein eines jenseits des letzteren sich bewegenden Planeten und berechnete für einen bestimmten Zeitpunkt dessen Ort am Himmelsgewölbe; und in der That fand Galle dort einen noch unbekannten Planeten, der den Namen Neptun erhielt. — Auch die mechanische Wärmetheorie hat zu solchen Voraussetzungen einen geeigneten Ausgangspunkt geboten. Clausius folgerte aus ihr, dass der Schmelzpunkt eines Körpers von dem äusseren Druck abhängig sei und zwar durch Zunahme des Druckes bei den Körpern, die sich beim Schmelzen ausdehnen, erhöht, bei den andern erniedrigt würde, eine Folgerung, die durch genaue Untersuchungen bestätigt wurde.

7. Aber auch diese so überaus wunderbaren Voraussetzungen, so beweiskräftig sie auch zu sein scheinen, dürfen uns nicht dazu verführen, den Ausgangspunkt dieser Folgerungen, soweit er Hypothese ist, für objektiv wahr zu halten. Die Hypothesen sind ja nicht reine Phantasiegebilde, sondern einem bestimmten Kreise von Thatsachen mehr oder minder gut angepasst. Es ist daher an und für sich nicht verwunderlich, dass nun auch Thatsachen, die vermöge ihrer Gleichartigkeit jenem Kreise angehören, die aber aus irgend welchen Gründen bisher noch nicht be-

kannt geworden sind, in der Hypothese gewissermaßen eingeschlossen erscheinen. Allerdings erhöht die Übereinstimmung zwischen den vorausgesagten Erscheinungen und den entdeckten Thatsachen unsere Überzeugung von dem Wert und der Brauchbarkeit der betreffenden Hypothese.

So flöſſen uns, um nur ein Beispiel herauszugreifen, die Umstände, unter denen die Entdeckung des Neptun gelang, ohne Zweifel ein volles Vertrauen zu der Gravitationsmechanik ein, aber auch nur zu dieser. Wir sind jetzt sicher überzeugt, dass die Himmelskörper sich so bewegen, als ob sie sich nach dem Newtonschen Gesetz anzögen; aber das wirkliche Vorhandensein einer solchen anziehenden Kraft ist damit nicht erwiesen, ebensowenig, ob das Newtonsche Gesetz nicht etwa für sehr kleine oder sehr grosse Entfernungen Abänderungen erleidet, ob die Kraft unvermittelt, d. h. ohne dass die zwischenliegenden Stoffteilchen daran teilnehmen, in die Ferne wirkt, ob sie momentan sich ausbreitet oder hierzu Zeit gebraucht.

5. Bedeutung der Deduktion und der Hypothese für die systematische Darstellung.

1. Ist also die Deduktion schon notwendig für die Verifikation der Hypothesen, so liegt ihre grösste Bedeutung doch auf einem anderen Felde. Bisher war fast nur von der Erforschung der Wahrheit, von der Gewinnung neuer Erkenntnisse die Rede. Erkenntnisse müssen aber nicht bloss gewonnen werden, das ist Sache der wenigen Forscher; unser Aller Streben muss auf die geistige Besitzergreifung des bereits eroberten Gebietes gerichtet sein. Daher bedarf es einer systematischen Ordnung und Darstellung des als wahr Erkannten und einer zweckmässigen Beweisführung, wie wir sie bereits oben in den Hauptwerken der Mechanik von Newton und Lagrange kennen gelernt haben. Haben nun auch die Forschungen hierzu (meist auf induktive Weise) den Grund gelegt, so empfiehlt es sich doch

meistens nicht, bei der systematischen Darstellung den vielfach verschlungenen Pfaden der ersten Entdecker zu folgen, sondern auf möglichst einfachen und geraden Wegen das Ziel zu erreichen. Dabei leistet aber die Deduktion vermöge ihrer logischen Strenge und der Übersichtlichkeit des ganzen Verfahrens äusserst wertvolle Dienste.

Der Beweis unterscheidet sich dadurch von der Untersuchung, dass bei ihm das Endresultat bereits feststeht. Somit ist nicht etwa eine der logischen Methoden von der Beweisführung von vornherein ausgeschlossen. So werden die einfacheren Gesetze der Physik im Schulunterricht meist auf induktive Weise abgeleitet. Wenn man trotzdem der Deduktion im allgemeinen den Vorrang bei der Beweisführung einräumt, so geschieht dies mit Rücksicht auf die dargelegten vielfachen Vorzüge der Deduktion, und weil das Endziel der Naturwissenschaft allgemein darin erblickt wird, von einem einzigen Ausgangspunkt alle Gesetze und Erscheinungen abzuleiten.

2. Hierbei zeigt sich ein neuer Vorzug der das ganze Gebäude stützenden fundamentalen Theorien und Hypothesen, insofern sie gewissermassen als Behältnisse dienen, in denen die Entdeckungen der Zeit aufgezeichnet und aufbewahrt werden, die sonst als mit den übrigen Erscheinungen nicht im Zusammenhang stehend in Vergessenheit geraten würden.

So war die Lehre des Ptolemäus für viele Jahrhunderte der Mittelpunkt, um den sich die neuen Entdeckungen gruppieren; und erst in neuerer Zeit hat der Mangel einer Theorie es dahin gebracht, dass bedeutende Entdeckungen Jahre lang vergessen werden konnten, weil es an einem Sammelpunkt fehlte, dem sie vorläufig hätten einverleibt werden können. Die Entdeckung der rätselhaften Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum, sowie der hellen Linien in den Spektren farbiger Flammen geriet vollständig in Vergessenheit, weil es an leitenden, die verschiedenartigen Erscheinungen vereinigenden Ideen

fehlte. Dagegen blieb ein solches Schicksal den neu entdeckten Röntgenstrahlen erspart, da sie, abgesehen von ihrer praktischen Verwertbarkeit, dem Schema der Wellenbewegung, wenn auch vorläufig noch unsicher, eingereiht werden konnten.

6. Endgültige Würdigung der Hypothesen.

1. Haben wir daher auch kein sicheres Mittel, die objektive Wahrheit unserer Hypothesen, soweit sie solche von Grund aus sind, d. h. soweit sie über die Schranken unserer sinnlichen Wahrnehmung hinausgehen, zu erkennen, so unterliegt es nach dem Gesagten keinem Zweifel, dass sie in verständiger Hand mannigfachen Nutzen gewähren und dem Fortschritt des Wissens dienstbar gemacht werden können.

„Verwandtschaftslehre und Valenztheorie haben sich mächtig entwickelt und ihre Früchte getragen, ohne dass wir über die Natur des Valenzbegriffs oder die Ursachen der Affinität etwas wissen.“ Auch die Ptolemäische Theorie führte zur Konstruktion von Tafeln, durch welche die Örter der Gestirne mit einer für jene Zeit hinreichenden Genauigkeit bestimmt werden konnten. Welche Fortschritte verdanken wir nicht der Gravitationslehre, obwohl Newton selbst eingestand, von der *causa gravitationis* keine Kenntnis zu haben.

2. Damit gewinnen wir aber eine feste Stellung zu den Hypothesen. Sie sind weder als objektiv wahr noch als nutzlose Spielereien des Geistes zu betrachten; sie sind zu werten als Werkzeuge wissenschaftlicher Forschung, und ihre Bedeutung ist einzig und allein abhängig von ihrer Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit. Je mehr Erscheinungen eine Hypothese zusammenfassend erklären, je mehr Erscheinungen sie voraussagen kann, je leichter sich neu entdeckte Erscheinungen in ihren Rahmen einfügen lassen, je mehr sie zu neuen Forschungen anregt, desto brauchbarer und zuverlässiger ist sie.

Das war gerade der Vorzug der Wellentheorie vor der Emissionstheorie, dass bei jener alle neu entdeckten Erscheinungen, auch die verwickelten Vorgänge der Interferenz, Doppelbrechung und Polarisation, ohne grosse Schwierigkeit der Hypothese unterworfen werden konnten, während die Emissionstheorie ihre eigene Unfähigkeit durch die stete Einfügung neuer Hypothesen erwies. — Der dargelegte Standpunkt deckt sich übrigens mit dem der meisten Forscher. So glaubte, soviel wir wissen, keiner der bedeutenderen Astronomen des Altertums, zumal nicht Ptolemäus selbst, an das wirkliche Vorhandensein der Epicyklen. Und auch Newton scheint diesen Standpunkt geteilt zu haben, wenn er, wie es scheint, in dem berühmten Ausspruch: „hypotheses non fingo“ zwar die Benutzung von Hypothesen nicht von der Hand weist, aber ihnen die objektive Bedeutung abspricht.

3. Wenn wir nun aber den Hypothesen die objektive Wahrheit oder, besser gesagt, die Erkennbarkeit der objektiven Wahrheit absprechen und sie nur ansehen als Schritte auf dem Wege der Erkenntnis, wer bürgt uns dann, dass diese Schritte auch wirklich aufs Ziel gerichtet sind, dass wir uns ihm auch wirklich, wenn auch noch so langsam nähern, dass wir nicht etwa rückwärts schreiten oder uns in Kreisen in der Irre bewegen? Die Bürgschaft liegt wohl in dem sichtlichen Fortschritt des thatsächlichen Wissens, der jedem Kundigen klar ist, in der immer mehr zunehmenden Beherrschung der Natur. Aber immerhin ziemt es sich, bescheiden zu sein und klar zu erkennen, wie weit wir noch vom Ziele entfernt sind, ja zu untersuchen, ob überhaupt eine volle Erkenntnis der Natur für uns erreichbar ist.

Inhalt.

	Seite
Einleitung:	
Das Ziel der Naturwissenschaft und der zu ihm führende Weg	1
I. Beobachtung und Experiment	9
1. Das Ziel der Beobachtung und ihre objektiven Schwierigkeiten	9
2. Vorzüge des Experiments	11
3. Subjektive Schwierigkeiten der Beobachtung	16
4. Hilfsmittel der Beobachtung	18
II. Naturgesetz (empirisches Gesetz); Induktion	21
1. Charakter und Einteilung der Naturgesetze	21
2. Abweichung der Naturgesetze von der Erfahrung	23
3. Charakter und Wert der Induktion; Grundlagen unserer Kausalitätsvorstellung	24
4. Der Schluss aus dem Zeichen	29
5. Der Schluss aus der Ähnlichkeit	35
III. Kausalgesetz und Hypothese	37
1. Kräfte als Ursache der Erscheinungen	37
2. Art und Bedeutung der Kausalgesetze	40
3. Die Hypothese als Ergänzung der sinnlichen Wahrnehmung	42
4. Notwendigkeit und Bedeutung der Verifikation	44
5. Umformung und Wechsel der Hypothesen in der Geschichte der Wissenschaft	45
6. Wert der Hypothese	50
IV. Deduktion	57
1. Begriff der Deduktion und ihre Ausbildung in der Euklidischen Mathematik	57
2. Die synthetische und analytische Deduktion in der Mechanik und Physik	61
3. Die Natur der obersten Prämissen in der Mathematik und der Naturwissenschaft	66
4. Wert der Deduktion	70
5. Bedeutung der Deduktion und der Hypothese für die systematische Darstellung	75
6. Endgültige Würdigung der Hypothesen	77

Litteratur.

- Wundt, Logik. 2. Aufl. I Stuttgart 1893, II St. 1894 und 95.
Sigwart, Logik I Freiburg 1889, II Fr. 1893.
Paulsen, Einleitung in die Philosophie. Berlin 1896.
Lange, Geschichte des Materialismus. 2 Bde. Leipzig 1896.
Volkmann, Erkenntnistheoretische Grundzüge der Naturwissenschaften. Leipzig 1896.
Ostwald, Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus. Leipzig 1895.
V. Meyer, Probleme der Atomistik. Heidelberg 1896.
Du Bois-Reymond, Über die Grenzen des Naturerkennens. Die Sieben Welträtsel. Leipzig 1891.
Helmholtz, Vorträge und Reden. Braunschweig 1884.
Preyer, Naturwissenschaftliche Thatsachen und Probleme. Berlin 1880.
Wagner, Grundprobleme der Naturwissenschaft. Berlin 1897.
Thomson, Pop. Vorträge und Reden. I. Konstitution der Materie. Berlin 1891.
Dumas, Die Philosophie der Chemie. Berlin 1839.
Erdmann, Die Axiome der Geometrie. Leipzig 1877.
Dühring, Kritische Geschichte der allg. Prinzipien der Mechanik. Berlin 1873.
Hertz, Die Prinzipien der Mechanik. Leipzig 1894.
Secchi, Die Einheit der Naturkräfte, übers. von Schultze. 2 Bde. Braunschweig 1892.
Huxley, Reden und Aufsätze, übers. von Schultze. Berlin 1877.
Kayser, Lehrbuch der Physik. Stuttgart 1890.
Helmholtz, Vorlesungen über die elektromagnetische Theorie des Lichts. Hamburg u. Leipzig 1897.
L. Meyer, Grundzüge der theoretischen Chemie. Leipzig 1890.
Whewell, Geschichte der induktiven Wissenschaften, übers. v. Littrow. 3 Bde. Stuttgart 1840.
Heller, Geschichte der Physik. 2 Bde. Stuttgart 1882—84.
Poggendorff, Geschichte der Physik. Leipzig 1879.
Rosenberger, Geschichte der Physik. 3 Bde. Braunschweig 1882—90.
Kopp, Geschichte der Chemie. 4 Bde. Braunschweig 1843—47.
Meyer, Geschichte der Chemie. Leipzig 1889.
Euclidis Elementa, Ed. Heiberg. Lipsiae 1883.
The Elements of Euclid, by J. Todhunter. London 1891.
Newtons Mathematische Prinzipien der Naturlehre, herausgegeben von Wolfers. Berlin 1872.
Lagrange, Mécanique analytique, 2 Vol. Paris 1811.
-

Verlag von **Georg Reimer** in Berlin
zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Hauptsätze
der
Elementar - Mathematik
zum
Gebrauche an höheren Lehranstalten.

Bearbeitet von
Dr. F. G. Mehler.

Mit einem Vorworte von
Dr. Schellbach.

Einundzwanzigste Auflage,
besorgt von

G. Baseler,
Oberlehrer am Königlichen Gymnasium zu Elbing.

Preis: broschirt M. 1.60, gebunden M. 2.—.

Grundriss
der christlichen
Glaubens- und Sittenlehre
als Compendium für Studirende
und als
Leitfaden für den Unterricht an höheren Schulen

bearbeitet von
Otto Pfeiderer,

Doctor und Professor der Theologie zu Berlin.

Sechste, verbesserte Auflage.

Preis: M. ~~4~~60, in Leinwand gebunden M. 6.—.

Bürgerrecht und Bürgerpflicht.
Volksbuch des Staatswesens
für das

Königreich Preussen

bearbeitet von

F. Marcinowski,
Geh. Ober-Finanzrath.

Preis: 50 Pfennig.

Verlag von **Georg Reimer** in Berlin
zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Natürliche Schöpfungsgeschichte.

Von

Ernst Haeckel,

Professor an der Universität Jena.

Neunte, wesentlich verbesserte und theilweise umgearbeitete Auflage.

Mit dem Portrait des Verfassers und mit 30 Tafeln, sowie zahlreichen Holzschnitten, Stammbäumen und systematischen Tabellen.

Preis: geheftet M. 12.—, gebunden in 1 Halbfranzband M. 14.50,
gebunden in 2 Halbfranzbänden M. 16.—.

In diese neue Auflage seines berühmten Werkes hat der Verfasser die wichtigsten allgemeinen Ergebnisse seiner in den drei Bänden der „*Systematischen Phylogenie*“ niedergelegten historischen Forschungen aufgenommen.

Naturwissenschaftliche P l a u d e r e i e n

von

Dr. E. Budde.

== Zweite Auflage. ==

Preis: broschirt M. 3.60,
in Leinwand gebunden mit farbiger Titelzeichnung M. 4.50.

Biographisches Jahrbuch und Deutscher Nekrolog.

Unter ständiger Mitwirkung
von

**F. v. Bezold, Alois Brandl, Heinrich Friedjung, August Fournier, Ludwig Geiger,
Karl Glossy, Sigmund Günther, Eugen Guglia, Ottokar Lorenz, Jacob Minor,
Friedrich Ratzel, Paul Schlenther, Erich Schmidt, Anton E. Schönbach u. A.**

herausgegeben von

Anton Bettelheim.

I. Band.

Mit den Bildnissen von Treitschke und Du Bois-Reymond in Heliogravüre.

Umfassend die Verstorbenen des Jahres 1896.

Preis: broschirt M. 12.—, gebunden in Halbfranz M. 14.50.

Schulte-Tigges, August,

Philosophische Propädeutik auf naturwissenschaftlicher Grundlage Für höhere Lehranstalten u. zum Selbstunterricht

Bd.: 1

1898

Ph.u. 450 t-1

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11879591-3